DIE RADIOAKTIVITÄT EINIGER BRUNNEN DER UMGEGEND VON HALLE.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT

HALLE-WITTENBERG

ACAD
LUGD.BAT.
BIBL.

VORGELEGT VON

WILLY STARKE

AUS GERA.

HALLE A. S.
HOFBUCHDRUCKEREI C. A. KAEMMERER & CO.
1911.

Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **E. Dorn.**

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544726_0080

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung, Gegenstand der Untersuchung 7
Die Apparate 8
Die Methode und die Verwertung der Beobachtungen . 12
Die geologischen Verhältnisse der Umgegend von Halle 25
Die Ergebnisse 27
a) Brunnen mit Radiumemanation 28
b) Brunnen mit Radium- und Thoremanation . . 33
Sedimente 47
Zusammenfassung der Resultate 52

Einleitung.

Den ersten Nachweis der Radioaktivität atmosphärischer Luft lieferten Elster und Geitel[1]) durch ihre Messungen der Elektrizitätszerstreuung und durch Drahtaktivierung. J. J. Thomson[2]) und Himstedt[3]) fanden unabhängig von einander durch ähnliche Versuche, dass Luft, welche die Wasser der Leitungen von Cambridge bezw. Freiburg durchperlt hatte, ein radioaktives Gas mit sich führte, dessen Eigenschaften mit denen der Radiumemanation merklich übereinstimmten. Himstedt[4]) hat dann das gleiche noch für einige Wässer und Ölquellen nachgewiesen. Durch eingehende Untersuchungen vieler bedeutender Forscher[5]) gelangte man zu der Kenntnis, dass in fast allen Quellwässern mehr oder weniger Radiumemanation sich vorfindet. Strutt[6]) gelang es, in den Quellen von Bath und Buxton sogar ein gelöstes Radiumsalz nachzuweisen. Dasselbe fanden Dorn[7]) und nach ihm Hesius[8]) in dem Wasser der Karlsbader Quellen.

Einen weiteren Fortschritt auf dem Gebiete der Radioaktivität brachten die Beobachtungen von H. W. Schmidt.[9]) Er fand, dass in einigen Quellen des Grossherzogtums

1) Elster und Geitel, Annalen d. Physik 2. p. 425. 1900.
2) J. J. Thomson, nach Naturw. Rundschau. 31. Juli 1903.
3) Himstedt, Ber. d. Naturf. Ges. zu Freiburg i. Brg. p. 101—181. 1903.
4) Himstedt, Annalen d. Physik 13. p. 573. 1904.
5) Literatur s. Reichau Dissert. Halle a. S. 1908 p. 6
6) Strutt, Troc. Royal Soc. 73 p. 191. 1904.
7) Dorn, Abh. d. Naturf. Ges. Halle a. S. 25. p. 107. 1904.
8) Hesius, Dissert. Halle a. S. 1910.
9) H. W. Schmidt, Phys. Z. S. 7. p. 209. 1906.

Hessen und Nachbargebieten ausser Radium- auch Thoremanation enthalten ist. Zu dem gleichen Ergebnis kamen F. Jentsch[1]) bei der Untersuchung des Wassers einiger Kissinger Quellen und Wieprecht[2]) bei der einiger Solquellen Nord- und Mitteldeutschlands.

Andere Untersuchungen wurden an den Wässern einiger Brunnen vorgenommen. Thomson[3]) stellte Versuche mit dem Wasser der Brunnen von Cambridge, Birmingham und Ipswich an und Jaufmann[4]) untersuchte Niederschläge, Grundwässer und Brunnen bis zu einer Tiefe von 201 m. Überall konnte ein radioaktives Gas nachgewiesen werden.

Auf Veranlassung und mit gütiger Unterstützung von Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Dorn unternahm ich es nun, einige Brunnen der Umgegend von Halle zu untersuchen, um die Natur des in ihrem Wasser enthaltenen radioaktiven Gases und dessen Gehalt an Emanation in einem allgemein vergleichbaren Masse festzustellen. Gleichzeitig sollte ein Versuch gemacht werden, einen Zusammenhang zwischen dem geologischen Untergrund und der Stärke und Natur der Aktivität des Wassers zu ermitteln.

Die bei meinen Versuchen verwendeten Apparate wurden mir von Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Dorn gütigst zur Verfügung gestellt.

Die Apparate.

Zu meinen Vorversuchen benutzte ich anfangs den bereits von Reichau[5]) verwandten Elster und Geitel'schen Apparat aus der Sammlung des physikalischen Instituts. Später arbeitete ich mit dem Apparat von Wieprecht.[6]) Er

1) F. Jentsch, Phys. Z. S. 8. p. 887. 1907.
2) Wieprecht, Dissert. Halle a. S. 1909.
3) Thomson, Nat. 68. p. 609. 1903.
4) Jaufmann, Met. Z. S. 22. p. 102—113.
5) Reichau, Dissert Halle a. S. 1908.
6) Wieprecht, Dissert. Halle a. S. 1909.

unterscheidet sich von dem ersteren dadurch, dass das Elektroskop, um es vor schädlichen radioaktiven Einflüssen zu schützen, nicht auf dem Eisenteller unter der Glocke, sondern ausserhalb dieser unter dem Teller angebracht ist. Jedoch bereits bei der Untersuchung des Wassers des ersten Brunnens zeigten sich beide Elektroskope für die von mir beabsichtigten Versuche nicht empfindlich genug. Ich führte darum alle weiteren Untersuchungen mit einem vorzüglichen Quadrantelektrometer von der Mascart'schen Form aus. (Vgl, Figur.) Die Nadel war mit dem einen Pol einer Batterie von 100 Latimer Clark-Elementen verbunden, der andere Pol war zur Erde abgeleitet. Die Batterie stellte ich mir nach den Angaben der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt selbst her. Das eine Quadrantenpaar c, d war geerdet, das andere a, b war mit einem 0,5 mm starken Kupferdraht verbunden, der zu einem Messingstab A führte. Zum Schutze gegen äussere Einflüsse war der Draht mit Paraffin in die Achse eines dauernd geerdeten Messingrohres von 1 cm Durchmesser eingeschmolzen. Über der zu dem geladenen Quadrantenpaar führenden Klemme war eine Büchse angebracht. In dieser befand sich ein mit einem Stückchen Blei beschwerter Kupferbügel, der auf dem Verbindungsdraht mit dem Messraum lag. Mit Hilfe einer Schnur konnte der Bügel gehoben werden und somit das Quadrantenpaar a, b geerdet oder die Erdung aufgehoben werden. Der Messkondensator hatte die von Curie und Laborde angegebene Form. Ein auf einer Paraffinplatte isoliert aufgestellter Messingzylinder war die äussere Elektrode. Die innere Elektrode bildete der bereits erwähnte Messingstab A, der gut isoliert durch den Zylinderdeckel hindurchgeführt, sich in der Mitte des Messraums befand. Die Isolation bestand aus einem Bernsteinstopfen, den der Stab durchsetzte. Dieser Stopfen war umgeben von zwei konzentrischen Ringen aus Ebonit, die selbst wiederum von einem Ring aus starkem Messingblech umschlossen wurden. Die beiden Ebonitringe waren durch einen dauernd geerdeten

Metallring von einander getrennt, um ein Überkriechen von Elektrizität zum Stab zu verhindern. Mit Hilfe des äusseren Metallrings wurde der Deckel nach Zwischenlegen eines dicken weichen Gummiringes auf den am Zylinder oben angelöteten Rand durch Klemmschrauben luftdicht aufgepresst. Zur Einführung des radioaktiven Gases war an dem Messingzylinder ein oberer und ein unterer Hahnenstutzen angebracht. An den oberen Hahn wurde die Saugseite eines Gummigebläses angeschlossen, dessen andere Seite mit einem Glasrohr verbunden war. Dieses durchsetzte den doppelt durchbohrten Stopfen der das Brunnenwasser enthaltenden Flasche und reichte ziemlich bis zum Boden. Am unteren Ende war es zu einer mit zahlreichen Löchern versehenen Kugel ausgeblasen, um die durchperlende Luft gleichmässig zu verteilen. Von dem die zweite Bohrung des Stopfens durchsetzenden Glasrohre führte eine Schlauchleitung zu einer Chlorcalciumröhre. Diese war mittels Gummischlauches an eine Watteröhre angeschlossen, die ihrerseits mit dem unteren Hahn des Messzylinders verbunden war. Chlorcalcium- und Watteröhre wurden zu jedem Versuch neu hergestellt. Um das Chlorcalciumrohr möglichst vor dem während des Durchlüftens etwa mitgerissenen Wasser zu schützen, besass das Austrittsrohr einen Wasserabscheider in Gestalt zweier kugelförmiger Erweiterungen. In die obere dieser Erweiterungen ragte die Fortsetzung des Glasrohres ein wenig hinein und war gegen die untere Öffnung etwas zur Seite gebogen. Die Schläuche waren mittels Gummischnur luftdicht an die Hähne und Rohre angeschlossen und wurden zur Vermeidung von Undichtigkeiten oft erneuert. Das Wasser wurde in reinen mehrfach mit ihm selbst ausgespülten Literflaschen geschöpft und in den Originalflaschen selbst untersucht. Bei einigen nur schwach aktiven Wässern und bei denen, wo es ausserdem die Bauart des Brunnens ermöglichte, benutzte ich die von Mache[1]) und H. W. Schmidt[2]) beschriebene Schüttel-

1) Mache, Wien. Ber. 113. Abt. II a. 1329. 1904.
2) H. W. Schmidt, Phys. Z. S. 6. p. 561. 1905.

flasche. Das Volumen vom unteren bis zum mittleren Hahn betrug 3150 ccm, das übrige 3350 ccm. Zu diesen Versuchen wurde die Wasserprobe in eigens dazu angefertigten Messinggefässen von 3150 ccm Inhalt geschöpft. Oben und unten waren sie mit je einem Hahnenstutzen versehen und zur bequemen Handhabung war ein Messingbügel angebracht. Da nach dem Einlassen in den Brunnen ein Schliessen der Hähne von oben aus nicht möglich war, bediente ich mich des Prinzips des Doppelgefässes, indem ich auf den oberen Hahnenstutzen eine etwa 550 ccm Wasser fassende Wanne aufsetzte. So konnte das während des Heraufziehens des Gefässes ausfliessende Wasser sofort von oben wieder ersetzt werden, ohne mit Luft in Berührung zu kommen. Das Einfüllen des Wassers in die Schüttelflasche geschah durch den dicht über dem Boden befindlichen Hahn unter sorgfältiger Vermeidung jeglicher Durchperlung von Luft. Das Volumen war so abgemessen, dass das Wasser bis dicht unter dem mittleren Hahn stand. Zwecks Umblasen des radioaktiven Gases wurde die Schüttelflasche nach kräftigem Schütteln mit dem mittleren Hahn an die Druckseite des Gebläses, mit dem oberen Hahn an die Trockenvorrichtung angeschlossen.

Alle Leitungen bildeten einen geschlossenen Kreis, in dem ein und dieselbe Luftmenge nacheinander das Wasser, die Trockenvorrichtung, den Messraum und das Gebläse durchlief, bis Gleichgewicht zwischen Emanation im Wasser und in der Luft erreicht war. Zur Messung der radioaktiven Wirkung wurde der Messzylinder mittels einer Batterie von 150 kleinen Akkumulatoren auf + 320 Volt geladen. Der negative Pol der Batterie war zur Erde abgeleitet. Die Beobachtung der Ausschläge geschah mit Fernrohr und Skala, die Zeitmessung mit Taschenuhr und laut schlagendem Sekundenpendel.

Die Dimensionen und Konstanten der Apparate waren folgende:

Die Höhe des Messzylinders betrug 30,0 cm, sein Durchmesser 11,4 cm, sein Rauminhalt demnach 3062 ccm. Das Volumen von Gebläse, + Zuleitung + Trockenvorrichtung war 743 ccm. Das Gesamtvolumen der abgesperrten Luftmenge betrug also 3805 ccm + Luftmenge im Flaschenhals bzw. in der Schüttelflasche. Die Kapazität des Elektrometers mit der Zuleitung und dem Messingstab bestimmte ich mit Hilfe eines Harms'schen[1]) Kondensators. Dadurch, dass die auf ein hohes Potential geladene Nadel in die Quadranten hinein gezogen wird und dort eine steigende Ladung influenziert, erhöht sie die Kapazität des Systems der Quadranten und der Nadel gegenüber dem im Ruhezustand. Zur Erlangung eines richtigen Wertes liess ich darum den Kondensator solange mit dem Elektrometer verbunden, bis die Nadel zur Ruhe gekommen war. Die Kapazität des Elektrometers + Zuleitung betrug 48,50 cm, die des Elektrometers + Zuleitung + Messingstab 60,25 cm.

Alle von mir untersuchten Proben sind aus dem Grundwasser des betreffenden Brunnens geschöpft, ohne irgendwie durch eine Rohrleitung gegangen zu sein. Beim Transport und später beim Absaugen des Wassers wurde ein Durchperlen von Luft peinlichst vermieden. Ein Entweichen von Emanation vor dem Versuch war also nicht möglich.

Die Methode.

Die Methode beruht auf der ionisierenden Wirkung, welche die mit der zirkulierenden Luft in den Messraum gelangte Emanation hervorzurufen vermag. Eine Untersuchung dauerte etwa 2—3 Stunden. Das Verfahren dabei war folgendes:

Nachdem ich eine Stunde vor Beginn der Untersuchung die Schwefelsäure im Mascart'schen Elektrometer sorgfältig umgerührt hatte, begann ich den Versuch mit der Be-

1) Harms, Phys. Z. S. 47. 1904 und Ann. d. Phys. 10. p. 816. 1903.

stimmung der Empfindlichkeit, d. h. ich ermittelte mit Hilfe eines Latimer Clark-Elementes den Ausschlag in Skalenteilen für 1 Volt Potentialdifferenz. Wie schon Elster und Geitel[1]) und C. T. R. Wilson[2]) nachwiesen, befindet sich in der freien Luft immer eine geringe Menge von Ionen, die an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten verschieden ist. Es war darum nötig, vor jedem Versuch die den in der Zimmerluft vorhandenen Ionen zuzuschreibende elektrische Wirkung zu ermitteln.

Um eine Verbreitung von Emanation im Untersuchungszimmer zu vermeiden, nahm ich das zur Bestimmung des aktiven Niederschlags nötige, später erwähnte, Ausblasen der Emanation in dem ganz in der Nähe gelegenen Bibliothekszimmer des Instituts vor und zwar bei geöffnetem Fenster. Auch für diese Luft ermittelte ich darum vorher die natürliche Zerstreuung. Darauf wurde die zu untersuchende Wasserprobe in den Apparatekreis eingeschaltet und das Gebläse in Tätigkeit gesetzt, bis Gleichgewicht erreicht, d. h. bis die Emanation in Luft und Wasser im Sinne des Dalton-Henry'schen Gesetzes verteilt war. Gleichzeitig mit dem Beginn des Durchlüftens, das gewöhnlich 10 Min. währte, begann ich mit der Ablesung der pro Minute erzeugten Ausschläge. Diese Beobachtung setzte ich auch nach Schluss des Durchlüftens noch fort und zwar 8—10 Minuten lang. So war es mir möglich auch Thoremanation mit der Halbwertszeit von nur 54 Sekunden nachzuweisen. Nach 10 Minuten ist diese auf einen praktisch unmerklichen Betrag gesunken. Es wurden dann die Hähne des Zylinders geschlossen und das Verhalten der Emanation eine Stunde lang beobachtet.

Unmittelbar nach der letzten Ablesung, d. h. 60 Minuten nach Schluss des Durchlüftens wurde die Leitung von den Akkumulatoren zu dem Zylinder unterbrochen, der Deckel

1) Elster uud Geitel. Phys. Z. S. 2. p. 116. 1900.

2) C. T. R. Wilson. Proc. Camb. Phil. Soc. 11. p. 52. 1900; Proc. Royal Soc. 68. p. 152. 1901.

im Bibliothekszimmer abgenommen und die Emanation mittels eines grossen Gebläses etwa 7 Minuten lang ausgeblasen. Die Zeit von der Beseitigung des Potentials an bis zum Beginn des Ausblasens betrug nicht ganz eine Minute. Nachdem der Zylinder dann noch 2 Minuten lang tüchtig ausgeschwenkt worden war, wurden der Deckel wieder aufgesetzt und die Hähne wieder geschlossen. Darauf wurde er wieder an Spannung gelegt und 15 Min. nach Beginn des Ausblasens der Emanation etwa 45 Min. lang das Verhalten der erregten Aktivität beobachtet.

Alle mit der Emanation in Berührung gekommenen Messingteile wurden nach jedem Versuch sorgfältig mit Schmirgelpapier abgeschmirgelt, die Bernsteinisolation mit Alkohol und die Ebonitringe mit magnesia usta abgerieben.

Die den einzelnen Beobachtungen anhaftenden Fehler versuchte ich dadurch auszugleichen, dass ich aus der Nadelablenkung von der ersten bis dritten Minute den Ausschlag für eine Minute für die mittlere Zeit zwischen den betreffenden Ablesungen berechnete. Innerhalb der ersten 10 Minuten fiel dieses Zusammenfassen natürlich weg, da es sich da um den eventuellen Nachweis der sehr schnell zerfallenden Thoremanation handelte. Für diese Zeit wurden darum die Ablesungen von Minute zu Minute benutzt. Eine weitere Abschwächung der durch Beobachtungsfehler auftretenden Schwankungen erreichte ich durch Konstruktion der Kurve. Die auf die oben erwähnte Weise erhaltenen Werte wurden als Ordinaten, die dazugehörigen Zeiten als Abszissen in ein rechtwinkliges Koordinatensystem eingetragen. Der erhaltene Kurvenzug gestattete mir ausserdem einerseits die Stärke der radioaktiven Wirkung für die Zeit des Entfernens der Emanation zu extrapolieren, andererseits konnte ich aus seinem Verlauf die Natur des radioaktiven Gases erkennen.

Von allen bisher bekannten Radioelementen entwickeln Radium, Thorium und Aktinium Emanation. Aktiniumemanation zerfällt bereits nach 3,9 Sekunden auf die Hälfte

ihres Anfangswertes. Sie ist darum entweder bereits auf dem Wege nach dem Messzylinder vollständig verschwunden oder sie gelangt nur in praktisch unmerklichen Mengen dorthin. Die einzig in Betracht kommenden Produkte sind Radium- und Thoremanation. Beide unterscheiden sich durch ihre verschieden lange Lebensdauer von einander. Thoremanation zerfällt bereits nach 54 Sekunden, Radiumemanation erst nach 3,8 Tagen auf die Hälfte ihres Anfangswertes. Bei ihrer Umwandlung bilden beide einen aktiven Beschlag, der langsam abklingt, wenn er von Thorprodukten, schnell abnimmt, wenn er von Radiumprodukten herrührt. Der aktive Thorbeschlag besteht aus Thorium A, B, C und D.[1]) Thorium A zerfällt nach 10,6 Stunden zur Hälfte in Thorium B, dieses bereits nach 55 Minuten zur Hälfte in Thorium C, das sich seinerseits in wenigen Sekunden zur Hälfte in Thorium D umwandelt. Dieses zerfällt nach 3,1 Minute zur Hälfte. Der aktive Radiumniederschlag besteht aus einem solchen schneller und einem solchen langsamer Änderung. Letzterer ist infolge seiner geringen Umwandlungsgeschwindigkeit (Radium D zerfällt erst nach 37 bezw. 12 Jahren auf die Hälfte) bei den vorliegenden Versuchen ohne jeden Einfluss. Der aktive Beschlag mit grosser Umwandlungsgeschwindigkeit besteht aus Radium A, B und C. Radium A verwandelt sich nach 3,0 Minuten zur Hälfte in Radium B. Dieses zerfällt nach 26,7 Minuten zur Hälfte in Radium C, das sich seinerseits mit einer Halbwertsperiode von 19,5 Minuten umwandelt. Wird Radiumemanation in den Messraum gebracht, so ist zunächst ein Ansteigen der Stromstärke zu beobachten, das von den sich bildenden Zerfallsprodukten herrührt und nach ungefähr $2\,^1/_2$ Stunden ein Maximum erreicht. Von da ab beobachtet man die Abnahme der ionisierenden Wirkung nach dem Exponentialgesetz:

$$J_t = J_0 e^{-\lambda t},$$

1) Hahn und Meitner, Verh. d. phys. Ges. 11. 1909, p. 55.

wobei λ die charakteristische Abklingungskonstante, J_0 und J_t die Intensitäten zur Zeit 0 bez. t und e die Basis des natürlichen Logarithmusses bedeuten. Aus allen nach Eintritt des Gleichgewichtszustandes gemachten Ablesungen lässt sich dann λ berechnen. Bei den vorliegenden Untersuchungen nun wurde das Verhalten der Emanation nur eine Stunde lang beobachtet und aus dem Verlauf der Kurve Natur und Stärke der Emanation in dem betreffenden Wasser ermittelt.

Der Vorteil meiner Methode[1]) besteht darin, dass man leicht und in verhältnismässig kurzer Zeit die Frage nach der Art der Emanation lösen kann, denn Versuche über die Abklingung der Emanation selbst sind wegen des langsamen Zerfalls der Radiumemanation von langer Dauer und schliessen wegen der Diffusion der Emanation manche Fehlerquellen in sich. Vorversuche ergaben, dass mitunter während des Versuches über mehrere Tage ganz geringe Undichtigkeiten auftraten, die oft die Verwertung aller Beobachtungen in Frage stellten. Von den nach meiner Methode gefundenen Kurven gebe ich einige charakteristische für Radiumemanation und die für Radium- und Thoremanation gefundenen sämtlich bei, um zu zeigen, wie deutlich der Charakter des radioaktiven Gases an den Beobachtungen zu erkennen ist.

Als Beweis für das Vorhandensein von Radiumemanation allein diente mir der sofort eintretende Anstieg der Leitfähigkeit. Der Kontrolle wegen nahm ich noch Versuche mit reiner Radiumemanation vor, zeichnete die Kurve und verglich mit ihr die bei der Untersuchung der Brunnenwässer gefundenen Kurven. Dem Thortypus entspricht infolge des schnellen Zerfalls der Emanation ein schneller Abfall in den ersten Minuten. Ein Gemisch beider Emanationsarten gibt eine Kurve, die eine Kombination der Kurven für Radium- und Thoremanation darstellt. Sie zeigt einen anfänglichen schnellen Abfall mit darauf folgendem Anstieg.

1) H. W. Schmidt u. K. Kurz, Phys. Z. S. 7. S. 209.

Es muss besonders erwähnt werden, dass es noch nicht unbedingt gegen das Vorhandensein von Thor spricht, wenn in dem Wasser selbst Thoremanation nicht nachweisbar war. Man muss immer berücksichtigen, dass die Thoremanation sehr schnell zerfällt und darum kleine Mengen davon schwieriger nachzuweisen sind, als die ziemlich beständige Radiumemanation. Bei Gemischen beider Emanationsarten kann es vorkommen, dass der von einer sehr überwiegenden Menge Radiumemanation herrührende Anstieg den schwachen Thorabfall vollständig verdeckt.

In keiner der vorliegenden Wasserproben konnte Thoremanation allein nachgewiesen werden. Ich hatte es darum bei der Berechnung der Stärke der Aktivität immer nur mit Wässern zu tun, die entweder Radiumemanation allein, oder Radiumemation und Thoremanation zusammen enthielten. Da bei den einzelnen Proben vom Augenblick des Schöpfens an bis zur Untersuchung verschieden lange Zeiten vergangen waren, so war natürlich auch der Bruchteil der während dieser Zeit im Wasser zerfallenden Emanation bei den einzelnen Proben verschieden. Um vergleichbare Resultate zu erhalten, rechnete ich immer auf den Moment des Schöpfens zurück.

Es sei zunächst die Berechnung der Wirkung der nur Radiumemanation enthaltenden Wässer angegeben. Die nach einer Stunde beobachtete Zerstreuung kann nur von Radiumemanation und ihren Zerfallsprodukten herrühren. Bringt man von diesem nach 60 Minuten beobachteten und mittels der Kurve ausgeglichenen Wert den für diese Zeit geltenden Betrag der erregten Aktivität in Abzug, so erhält man die von der Emanation allein hervorgerufene Zerstreuung. Mittels der Exponentialformel kann man dann die radioaktive Wirkung zur Zeit des Schöpfens ermitteln.

Zur Bestimmung der Wirkung des aktiven Niederschlags verfuhr ich in der bereits angegebenen Weise. Nach den Formeln von H. W. Schmidt[1]) berechnete ich die

1) H. W. Schmidt, Annalen d. Phys. 21. p. 609.

Abnahme der erregten Aktivität nach 15 Minuten. Bei einer Expositionszeit von 60 Minuten betrug sie gegenüber der Gesamtwirkung bei Beginn des Ausblasens 36,6%. Um also die Zerstreuung für den aktiven Beschlag zur Zeit des Entfernens der Emanation zu bekommen, muss ich den nach 15 Minuten beobachteten und wiederum mit Hilfe der Kurve ausgeglichenen Wert mit 1,58 multiplizieren. Herr Geheimrat Dorn fand für diesen Faktor durch Versuche den Wert 1,6. Der mit Hilfe von Versuchen ermittelte und mein durch Rechnung gefundener Wert stimmen also gut überein.

Zum besseren Verständnis sei eine der Berechnungen angeführt:

Brunnen in Brachwitz.

Empfindlichkeit: 129,07 Skalenteile bei 1 Volt Potentialdifferenz.

Die natürliche Zerstreuung ist überall bereits berücksichtigt.

Nach 60 Minuten langer Beobachtung:

Zerstreuung der R.-Emanation + der des aktiven Beschlags	129,2 Skte./Min.
Zerstreuung des aktiven Beschlags 15 Minuten nach Ausblasen der Emanation . . .	30,5 Skte./Min.
Zerstreuung der erregten Aktivität zur Zeit des Entfernens der Emanation	30,5. 1,58 = 48,2 Skte./Min.
folglich: die Zerstreuung der R.-Emanation	81,0 Skte./Min.

Vom Moment des Schöpfens bis zur Untersuchung waren 24 Stunden 44 Minuten = 89040 Sek. vergangen. Rechnet man auf die Zeit des Einfüllens zurück, so erhält man nach der Formel:

$$J_t = J_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

als radioaktive Wirkung:

$$J_0 = 81{,}0 \cdot e^{\lambda \cdot 89040};$$
$$J_0 = 97{,}66 \text{ Skte./Min.}$$
$$= 0{,}757 \text{ Volt/Min.}$$

Etwas anders gestaltete sich die Rechnung bei Brunnen, die Radium- und Thoremanation enthielten.

Die für den Schluss des Durchlüftens des Wassers gefundene Zerstreuung ist die Gesamtwirkung der in ihm vorhandenen Radium- und Thoremanation und des während des Durchlüftens entstandenen aktiven Beschlags.

Zur Trennung der einzelnen Wirkungen ermittelte ich zunächst die Zerstreuung der Radiumemanation und den der erregten Aktivität zukommenden Anteil. Ziehe ich diese Werte von der beobachteten Gesamtwirkung ab, so erhalte ich die Wirkung der Thoremanation. Die Gesamtaktivität des Wassers wird dargestellt durch die Gesamtwirkung der Radium- und Thoremanation.

Zur Ermittelung des der Radiumemanation zukommenden Wertes stellte ich genau wie vorher die Wirkung der Emanation nach 60 Minuten fest und rechnete mittels der Exponentialformel auf den Schluss des Durchlüftens zurück. Thoremanation kommt nach einer Stunde praktisch nicht mehr in Betracht und der von ihr herrührende aktive Beschlag ist so unmerklich klein, dass er bei keinem Versuch beobachtet werden konnte.

Den aktiven Beschlag sah ich aus demselben Grunde wie oben als nur aus Zerfallsprodukten der Radiumemanation bestehend an. Der auf ihn entfallende Bruchteil der Wirkung wurde so ermittelt, dass aus Kurven für reine Radiumemanation und für Wässer, die nur Radiumemanation enthielten, das Verhältnis des aktiven Beschlags zur berechneten Emanationsmenge für den Schluss des Durchlüftens aufgestellt wurde. Es ergaben sich folgende Zahlen:

Reine Radiumemanation	0,22
Brunnen in Cöllme	0,27
„ „ Brachwitz	0,28
„ „ Delitz a. B.	0,23
„ „ Benkendorf	0,27
„ „ Böllberg	0,22
Johannesquelle[1])	0,28

Daraus ergibt sich als Mittel für den auf den aktiven Beschlag entfallenden Betrag ein Viertel der für diese Zeit berechneten Emanationsmenge. Eine zweite Begründung des von mir benutzten Ansatzes von 25% glaube ich in den Angaben von Rutherford[2])[3]) zu finden. Nach ihm beträgt die dem Radium-A zukommende ionisierende Wirkung 29% der Gesamtwirkung. Radium-A befindet sich nach 10 Minuten noch nicht vollständig im Gleichgewicht, sein Anteil an der Gesamtwirkung ist also etwas weniger als 29%.

Es ist klar, dass die beobachtete Thoremanation nur von einem im Wasser gelösten Thorsalz herrühren kann, denn die Untersuchungen sind oft erst viele Stunden nach dem Einfüllen der Probe vorgenommen worden und während dieser Zeit wären auch die letzten Spuren etwa okkludierter Thoremanation zerfallen. Ein Umrechnen auf die Zeit des Einfüllens wie bei der Radiumemanation ist also nicht nötig. Auch hier sei zum besseren Verständnis ein Beispiel angegeben.

Brunnen in Passendorf.

Empfindlichkeit: 125,29 Skalenteile bei 1 Volt Potentialdifferenz.

Die natürliche Zerstreuung ist wiederum bereits berücksichtigt.

1) Wieprecht, Dissert. Halle a. S. 1909.
2) Rutherford, Radioaktivität. p. 409. 1907.
3) Vgl. auch Battelli. Radioaktivität p. 243. 1910.

Nach 60 Minuten langer Beobachtung:

Zerstreuung der Radiumemanation + erregte Aktivität . . . . . 38,7 Skte./Min.

Zerstreuung der erregten Aktivität beobachtet 10,4 Skte./Min.

Zerstreuung der erregten Aktivität auf den Beginn des Ausblasens der Emanation zurückgerechnet . . . . . 10,4. 1,58 = 16,4 Skte./Min.

Zerstreuung der R.-Emanation allein . . . 22,3 Skte./Min.

Mittels der Formel $J_0 = J_t \cdot e^{\lambda t}$ auf den Beginn der Beobachtung zurückgerechnet gibt $J_0 = 22{,}5$ Skte./Min., d. h. die der Radiumemanation zukommende Wirkung nach Schluss des Durchlüftens betrug 22,5 Skte./Min.

Beobachteter Ausschlag nach Schluss des Durchlüftens, d. h. Zerstreuung der R.-Emanation + Thoremanation + erregte Aktivität . . . . . 31,2 Skte./Min.

Zerstreuung der R.-Eman. allein 22,5 Skte./Min.

„ „ erregten Aktivität $\frac{22{,}5}{4} = \frac{5{,}6}{}$ Skte./Min.

Zerstreuung der R.-Eman. + erregte Aktivität 28,1 Skte./Min.

Zerstreuung der Thoremanation allein . . 3,1 Skte./Min.

Die Wirkung der Radiumemanation mittels der Exponentialformel auf den Moment des Schöpfens zurückgerechnet ergibt 28,24 Skte./Min.

Rechnet man nun die gefundenen Skalenteile noch in Volt um, so ergibt sich für die in dem Wasser enthaltene Emanationsmenge eine Gesamtwirkung von 0,250 Volt/Min., wovon auf die Thoremanation 0,025 Volt/Min., auf die Radiumemanation 0,225 Volt/Min. entfallen.

Da bei den einzelnen Untersuchungen nicht immer gleiche Wassermengen verwandt worden waren, so war es zum Vergleich nötig, alle Ergebnisse auf eine gleiche Menge umzurechnen. Ich berechnete darum immer die Zerstreuung, welche die in 1 Liter Wasser enthaltene Emanationsmenge hervorzubringen vermag. Dabei ist ein

Unterschied zu machen, ob die Emanation durch Durchperlen von Luft oder durch Schütteln aus dem Wasser ausgetrieben worden war.[1]) Es sei:

J die ionisierende Wirkung in Millivolt/Sekunde, welche die in 1 Liter Wasser vorhandene Emanationsmenge hervorzubringen vermag,

i die von der in der verwandten Wassermenge enthaltenen Emanation herrührende Zerstreuung,

L_1 das Luftvolumen in der Schüttelflasche,

l_1 das Luftvolumen in der Probeflasche,

l_2 das Luftvolumen im Messraum,

l_3 das Luftvolumen des Gebläses und der Zuleitung,

w die verwandte Wassermenge und

α der Verteilungskoeffizient.

Nach Rausch v. Traubenberg[2]) ist bei Zimmertemperatur der Verteilungskoeffizient der Emanation in Wasser:

$$\alpha = \frac{\text{Dichte der Eman. in Wasser}}{\text{Dichte der Eman. in Luft}} = \frac{1}{3}.$$

Bei dem ersten der oben erwähnten Verfahren ist die Wirkung der mit der Luft fortgeführten Emanationsmenge

$$\frac{i}{l_2}(l_1 + l_2 + l_3),$$

der im Wasser zurückgebliebenen

$$\frac{i\,\alpha\,w}{l_2},$$

folglich ist der Effekt der in 1 l Wasser vorhandenen Emanationsmenge:

$$J = \frac{1000}{w}\,\frac{i}{l_2}(l_1 + l_2 + l_3 + \alpha\,w)$$

Bei Verwendung der Schüttelflasche beträgt die Zerstreuung der in die Luft übergetretenen Emanationsmenge:

1) Dorn, Radioaktivität, Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik, p. 657.

2) Rausch v. Traubenberg, Phys. Z. S. 5. p. 130. 1904.

$$\frac{l_2 + L_1 + l_3}{l_2} \cdot i,$$

der im Wasser zurückgebliebenen:

$$\frac{\alpha w}{L_1} \quad \frac{l_2 + L_1 + l_3}{l_2} \cdot i$$

Die ionisierende Wirkung der in 1 l Wasser enthaltenen Emanationsmenge ist demnach in diesem Falle:

$$J = \frac{1000}{w} \cdot \frac{l_2 + L_1 + l_3}{l_2} \left(1 + \frac{\alpha w}{L_1}\right) \cdot i$$

Ist s die durch den Versuch gefundene von der Emanation herrührende Zerstreuung zur Zeit des Einfüllens in Skalenteilen pro Minute und ist F der Ausschlag in Skalenteilen für 1 Volt Potentialdifferenz, so erhält man für i den Ausdruck:

$$i = \frac{1000 \cdot s}{60 \cdot F}$$

Setzt man diesen Wert für i in die gefundenen Formeln ein, so erhält man

$$J = \frac{1000}{w} \quad \frac{1000 \cdot s}{60 \cdot F \cdot l_2} \; (l_1 + l_2 + l_3 + \alpha w)$$

$$\text{bezw. } J = \frac{1000}{w} \cdot \frac{1000\, s \cdot}{60\, F l_2} \; (l_1 + L_1 + l_3) \left(1 + \frac{\alpha w}{L_1}\right)$$

Um meine Ergebnisse in einem allgemein vergleichbaren Masse wiedergeben zu können, schloss ich mich dem Vorschlag von Mache[1]) an, der den Sättigungsstrom angibt, den die in 1 l Flüssigkeit enthaltene Emanationsmenge zu unterhalten vermag. Ist C die Kapazität des Systems, so erhalte ich durch Umrechnung der Volt in elektrostatische Einheiten

$$E = \frac{C \cdot J}{300} \text{ Mache-Einheiten.}$$

---

1) Mache, Wien. Ber. 113. II a; 1329. 1904.

Zur Erläuterung führe ich die Rechnung an den beiden angeführten Beispielen weiter durch.

1. Brunnen in Brachwitz.

$s = 97{,}66$ Skte./Min., $F = 129{,}07$ Skte., $w = 850$ ccm,

$l_1 = 150$ ccm., $l_2 = 3062$ ccm., $l_3 = 743$ ccm; $\alpha = \frac{1}{3}$.

Nun ist:

$$J = \frac{1000}{w} \cdot \frac{1000 \cdot s}{60 \cdot F \cdot l_2} \; (l_1 + l_2 + l_3 + \alpha w).$$

Die Werte eingesetzt gibt:

$$J = \frac{1000}{850{,}0} \cdot \frac{1000 \cdot 97{,}66}{60 \cdot 129{,}07 \cdot 3062} \cdot \left(150 + 3062 + 743 + \frac{850}{3}\right)$$
$$= 20{,}535 \text{ Millivolt/Sekunde.}$$

Hieraus ergibt sich für E:

$$E = \frac{C \cdot J}{300} = \frac{60{,}25 \cdot 20{,}535}{300} = 4{,}124 \text{ Mache-Einh.}$$

2. Brunnen in Passendorf.

$s_{\text{Thor}} = 3{,}1$ Skte./Min., $s_{\text{Rad.}} = 28{,}24$ Skte./Min., $F = 125{,}29$ Skte.

$l_1 = 150$ ccm., $l_2 = 3062$ ccm, $l_3 = 743$ ccm,

$w = 850$ ccm, $\alpha = \frac{1}{3}$.

Daraus ergibt sich für $J_{\text{Thor.}}$:

$$J_{\text{Th.}} = \frac{1000}{850} \cdot \frac{1000 \cdot 3{,}1}{60 \cdot 125{,}29 \cdot 3062} \cdot \left(150 + 3062 + 743 + \frac{850}{3}\right)$$
$$= 0{,}672 \text{ Millivolt/Sekunde.}$$

In Mache-Einheiten ungerechnet erhält man:

$$E_{\text{Th.}} = \frac{60{,}25 \cdot 0{,}672}{300} = 0{,}1349 \text{ Mache-Einheiten.}$$

In analoger Weise wird die Wirkung der Radiumemanation berechnet. Es ergibt sich:

$$E_R = 1{,}2285 \text{ Mache-Einheiten.}$$

Die Gesamtaktivität des Wassers setzt sich zusammen aus der Summe der Wirkungen der beiden Emanationsarten.

Die von der Radiumemanation herrührende Wirkung beträgt . . . . . 1,2285 Mache-Einheiten,
die der Thoremanation . . . . 0,1349 „ „

Folglich beträgt die Gesamtaktivität des Wassers . . 1,3634 Mache-Einheiten.

Das Verhältnis der Wirkung der Radium- zur Thoremanation

$$\frac{E_R}{E_{Th.}} \text{ ist } 9{,}109.$$

Die geologischen Verhältnisse der Umgegend von Halle.

Mit Ausnahme des ehemaligen Vororts Cröllwitz liegt die Stadt Halle auf dem rechten Saaleufer. Der Hauptfluss des Gebietes ist die Saale. In zahlreichen Windungen durchfliest sie die Landschaft und teilt sich dabei öfters in verschiedene Arme, die dann oft üppige Wiesen und Auwaldungen einschliessen. Die grösste Mannigfaltigkeit der Bodengestaltung zeigt das nördlich der Stadt gelegene Gebiet auf. Hier wird der Fluss von mächtigen Felsmassen eingeengt, durch die er sich seinen Weg erzwingen muss.

Nicht minder grosse Abwechselung als in der Bodengestaltung weist die Gegend von Halle in geologischer Hinsicht auf. Als Übergangsgebiet zwischen Mitteldeutschland und dem norddeutschen Flachland vereinigt es in seinem Aufbau die hervorstechenden Merkmale beider auf engem Raume. Der tektonische Bau der prätertiären Schichten zeigt 2 von einander unabhängige Faltungssysteme. Das ältere von beiden bezeichnet man als die Halle'sche, das jüngere als die Mansfelder Mulde. Jene liegt auf dem rechten Ufer der Saale und besteht aus Carbon und Unter-

Rotliegendem mit eingeschalteten Porphyrdecken. Durch prätertiäre Denudation ist sie von der Überlagerung durch Ober-Rotliegendes, Zechstein und Trias vollständig befreit worden. Die von O. nach W. auf einander folgenden Formationen sind Unter-Rotliegendes, älterer und jüngerer Porphyr. Durch zahlreiche kleinere Mulden, Sättel und Verwerfungen ist ihr Bau vielfach zerstört. Ich verweise darum für die besonderen Fälle auf „die geologischen Verhältnisse der Umgegend von Halle a. S.“ von K. Bernau und auf die geologische Karte von Halle.

Regelmässiger gebaut ist die auf dem linken Saaleufer gelegene Mansfelder Mulde. Es kommen da vom Muldenkern ausgehend nach N. zu folgende Formationen vor: Muschelkalk, Buntsandstein, Zechstein und Ober-Rotliegendes, das mit einer Verwerfung an den jüngeren Porphyr der Halle'schen Mulde grenzt.

Die Ablagerungen dieser älteren Schichten werden oft verhüllt durch eine dünne Decke alttertiärer und diluvialer Ablagerungen. Die Tertiärablagerungen von Halle bestehen aus Sand, seltener Kiesen, Tonen und Braunkohlen. Vor Ablagerung des Tertiär hat eine sehr tief gehende chemische Verwitterung aller älteren Gesteine stattgefunden, wobei die Sedimentärgesteine in mehr oder weniger eisenfreie helle Tone, die Porphyre in Kaolin umgewandelt wurden.

Die jüngsten Bildungen fasst man unter dem Namen Alluvium zusammen. Man versteht darunter alle Ablagerungen, deren Bildung noch heute andauern kann. Sie liegen in Tälern, von Flüssen und Bächen abgelagert, in höher liegenden kleinen Rinnen, an Abhängen und Hochflächen, wo sie von Regen und Wind zusammengetragen werden.

Die östliche Seite der Umgegend von Halle zeigt in der Hauptsache Diluvium, nur stellenweise Alluvium, besonders in den Talauen. Die diluvialen Ablagerungen bestehen zum grössten Teil aus Geschiebelehm, den Grundmoränen des nordischen Inlandeises, teils aus Schotter und

Sanden, mit gelegentlich eingeschalteten Tonen und Feinsanden.

Man kann diese südlichen Schotter auf die Saale zurückführen. Nach ihrer Höhenlage ordnen sich diese alten Kiese zu einem fortlaufenden Schotterzug (Terrasse) der durch eine interglaziale Saale, die etwa 20 m über dem heutigen Saaletal floss, abgelagert wurde. Ihrer Zusammensetzung nach bestehen die Saaleschotter aus Geröllen aller im Flussgebiet der Saale und ihrer Nebenflüsse anstehenden Gesteine, und zwar so, dass die härteren und widerstandsfähigeren Gesteine die weicheren leicht zerstörbaren an Menge überwiegen. Des Näheren muss auf die Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen, Blatt Halle-Süd und Blatt Petersberg verwiesen werden.

Zur bequemen Orientierung habe ich in einer beigegebenen kleinen Übersichtskarte die Orte der von mir untersuchten Brunnen mit den dazu gehörigen Bodenarten besonders vermerkt und die Ergebnisse dieser Untersuchungen eingezeichnet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen.

Wie schon vorher erwähnt, benutzte ich zu den ersten Vorversuchen einen Elster und Geitel'schen Apparat. Ich untersuchte damit frisch geschöpfte Fürstentaler Sole. Die Beobachtungen erstreckten sich über 4 Tage. Als Abklingungskonstante berechnete ich aus ihnen

$$\lambda = 0{,}00763 \text{ Stunden}^{-1}$$

Curie und Rutherford fanden für Radiumemanation

$$\lambda = 0{,}00724 \text{ Std.}^{-1} \text{ bezw. } 0{,}00779 \text{ Std.}^{-1}.$$

Mein Wert stimmt also mit den ihrigen gut überein. Für die radioaktive Wirkung der in 1 l Sole enthaltenen Emanationsmenge fand ich

13,46 Mache-Einheiten.

Alle anderen Wasserproben untersuchte ich mit Hilfe eines Quadrantelektrometers nach der angegebenen Methode. Die Empfindlichkeit wurde stets so gewählt, dass ich auch sehr kleine Schwankungen noch deutlich beobachten konnte. Es war mir so möglich in zahlreichen Wasserproben neben Radium- auch Thoremanation nachzuweisen.

a) Brunnen mit Radiumemanation.

Bei der Aufnahme der zum Vergleich dienenden Radiumkurve verfuhr ich genau wie bei einem Radiumemanation enthaltenden Wasser. In einer mit 2 Hähnen versehenen Glaspipette brachte ich das Gas in den Luftstromkreis, öffnete die Hähne, setzte das Gebläse in Tätigkeit und begann in der üblichen Weise zu beobachten. Der charakteristische schnelle Anstieg der Kurve in den ersten Minuten rührt wahrscheinlich von Radium-A und einer geringen Menge Radium-C her.

In der folgenden Tabelle (S. 29) bringe ich zunächst die Ergebnisse der Untersuchungen an Brunnen, in deren Wasser nur Radiumemanation nachgewiesen werden konnte. In der ersten Reihe ist der Ort angegeben, in dem das untersuchte Wasser geschöpft wurde. Bevorzugt wurden Brunnen, bei denen durch die Erbauer noch die anstehende Bodenart zu ermitteln oder auf der geologischen Karte leicht zu erkennen war. In Reihe II gebe ich die Zeit des Schöpfens wieder, in Reihe IV das benutzte Wasservolumen, in Reihe V die Nadelausschläge für 1 Volt Potentialdifferenz und in Reihe X die Tiefe der einzelnen Brunnen. In Reihe III steht unter a der Tag der Untersuchung, unter b der Schluss des Durchlüftens und unter c der Beginn des Ausblasens der Emanation. Reihe VI a gibt den Wert der natürlichen Zerstreuung des Bibliothekszimmers bei geöffnetem Fenster an, wo das Ausblasen der Emanation vorgenommen wurde, VI b den des Untersuchungszimmers. In der folgenden Reihe steht die nach 60 Minuten be-

Tabelle I.

Brunnenort	Moment des Schöpfens	Zeit der Untersuchung a	Zeit der Untersuchung b	Zeit der Untersuchung c	Volumen ccm	Empfindlichkeit	Natürl. Zerstreuung a	Natürl. Zerstreuung b	Nadelablenkung zu Beginn des Entfernens der Emanation	Erregte Aktivität	Mache-Einheiten	Brunnentiefe m	Bodenart
Grosser Brunnen am Galgenberg	15. 3. 5^{00} N.	16. 3.	10^{22} V.	11^{22} V.	3150	120,22	2,8	5,4	11,3	5,1	0,1886	28	älterer Porphyr
											0,1772		
	24. 2. 9^{20} V.	24. 2.	11^{01} V.	12^{01} V.		72,52	1,1	1,1	5,4	1,7	0,1657		
Nietleben (Zgl. von Friedrich) . . .	17. 3. 10^{30} V.	17. 3.	2^{16} N.	3^{16} N.	890	73,30	0,7	0,7	5,6	2,2	0,2487	7	vertonter m. Buntsandstein
Wörmlitz	21. 5. 4^{00} N.	24. 5.	1^{25} N.	2^{25} N.	850	125,28	1,2	1,0	16,8	8,5	0,6149	12	„ „ „
Böllberg	21. 5. 3^{30} N.	23. 5.	3^{51} N.	4^{51} N.	850	125,51	0,9	0,9	23,6	10,1	0,8556	10	„ „ „
Benkendorf . . .	21. 5. 4^{45} N.	23. 5.	10^{18} V.	11^{18} V.	850	125,51	0,9	0,6	24,1	10,6	0,8088	4	Saaleschotter der Aue
Wäscherei a. Galgenberg	6. 4. 6^{00} N.	7. 4.	9^{37} V.	10^{37} V.	930	142,78	1,7	1,4	74,4	31,0	1,6924	13	älterer Porphyr, darüber z. T. vertonter Porphyr
Kalkwerk Cöllme .	28. 4. 5^{15} N.	30. 4.	10^{43} V.	11^{43} V.	850	127,96	1,6	1,3	63,6	25,6	2,2268	30	Muschelkalk
Schlettau	7. 4. 4^{45} N.	8. 4.	10^{46} V.	11^{46} V.	900	131,75	1,5	1,5	32,0	10,1	0,9721	11	mittlerer Buntsandstein
Brachwitz	14. 4. 11^{15} V.	15. 4.	11^{02} V.	12^{02} V.	850	129,07	3,2	0,5	129,2	48,2	4,1241	6	jüng. Porphyr z. T. Triebsand
Waldkater	24. 5. 11^{00} V.	25. 5.	3^{10} N.	4^{10} N.	850	125,43	1,3	1,1	105,0	47,4	2,7849	5	vertonter jüngerer Porphyr, evtl. jüngerer Porphyr
Delitz	21. 5. 5^{15} N.	22. 5.	10^{12} V.	11^{12} V.	850	125,74	0,3	0,6	76,7	29,1	2,3097	12	mittlerer Buntsandstein
	25. 2. 9^{45} V.	25. 2.	11^{16} V.	12^{16} V.		74,37	1,2	1,2	996,6	336,7	28,595		
Kleiner Brunnen am Galgenberg					3150						39,323	8	älterer Porphyr
	4. 3. 4^{30} N.	5. 3. — 8. 3.				37,49	1,2				53,196		
	10. 3. 2^{30} N.	11. 3.	10^{48} V.	11^{48} V.		31,28	0,8	0,7	466,4	163,8	36,177		
I	II	III a	III b	III c	IV	V	VI a	VI b	VII	VIII	IX	X	IX

obachtete und mittels der Kurve ausgeglichene Nadelablenkung nach Abzug der natürlichen Zerstreuung.

Der für die erregte Aktivität in Reihe VIII angegebene Wert bezieht sich auf den Moment des Entfernens der Emanation. Alle Angaben sind in Skalenteilen pro Minute wiedergegeben. Die Reihe IX enthält die berechnete radioaktive Wirkung der in 1 l des betreffenden Wassers enthaltenen Emanationsmenge zur Zeit des Schöpfens ausgedrückt in Mache-Einheiten. Die Angaben der letzten Reihe beziehen sich auf die Bodenart, in der der Brunnen steht. Die Bestimmung geschah teils nach der Karte, teils nach den Angaben der betreffenden Brunnenbauer.

Es ist natürlich immer schwierig, die Natur des Untergrundes genau festzustellen. Wenn der Brunnen z. B. auch in Buntsandstein steht, so kann das Wasser sehr wohl aus einer ganz anderen darunter liegenden Gesteinsart stammen. Und selbst wenn die Schichten genau bekannt sind, in denen das Wasser gebildet wird, so ist damit noch nicht gesagt, dass auch die radioaktiven Substanzen diesen Schichten entstammen müssen, sie können vielmehr beim Durchfliessen höherer Schichten aufgenommen worden sein.

Alle für die einzelnen Brunnen aufgenommenen Kurven stimmen mit der für Radiumemanation gefundenen gut überein. Mit Ausnahme der Wässer aus Böllberg und Benkendorf zeigen alle auch den charakteristischen Anstieg in den ersten Minuten. Es ist nicht ausgeschlossen, dass in diesen beiden Brunnen neben Radiumemanation doch noch Thoremanation vorhanden ist, die jedoch bei der Untersuchung nicht wahrgenommen werden konnte, weil der überwiegende Anstieg der Radiumkurve den Thorabfall verdeckte. Unter den Kurven für die erregte Aktivität zeichnet sich die des Brunnens im Waldkater durch einen hohen Anfangswert und schnellen Abfall aus.

Eine ganz besondere Beachtung verdienen der grosse und der kleine Brunnen am Galgenberg. Beide Brunnen befinden sich in den gegenüber der Wäscherei am Galgen-

berg gelegenen Schrebergärten und sind etwa 100 m von einander entfernt. Der grosse Brunnen ist 28 m, der kleine 10 m tief. Ich untersuchte das Wasser beider Brunnen mehrere Male. Bei jedem Versuch verwandte ich die Schüttelflasche. Wie schon H. W. Schmidt und K. Kurz,[1]) Jaufmann[2]) und Himstedt,[3]) so konnte auch ich grössere Schwankungen in der Stärke der Aktivität ein und desselben Wassers beobachten. Es ergab die Untersuchung des Wassers

des grossen Brunnens	am	24. 2.:	0,1657 M.-E.
	„	15. 3.:	0,1886 „ „
des kleinen Brunnens	„	25. 2.:	28,595 „ „
	„	4. 3.:	53,196 „ „
	„	10. 3.:	36,117 „ „

Bei beiden Brunnen ist der im März gefundene Wert grösser als der im Februar ermittelte. Die Erklärung ist vielleicht folgende:

Nach A. Schmidt[4]) nimmt die Radioaktivität zu, wenn die Ausflussmenge grösser wird und umgekehrt. Die beiden vorliegenden Brunnen nun wurden während des Winters fast nie benutzt. Die in dem stehenden Wasser vorhandene Emanation wurde zum Teil an die Atmosphäre abgegeben, in den tieferen Wasserschichten sammelte sie sich an. Als nun im Monat März die Brunnen seit langer Zeit das erstemal wieder stark benutzt wurden, kam das mit Emanation gesättigte Wasser zutage und ich erhielt eine stärkere radioaktive Wirkung. Der später gefundene kleinere Wert zeigt, dass bei der regelmässigen Benutzung des Brunnens die Emanation im Wasser gleichmässig verteilt ist. Natürlich spielt, wie schon Jaufmann (l. c.) beobachtete, der wechselnde Luftdruck bei der Emanationsabgabe eine grosse

1) Phys. Z. S. 7. p. 209.
2) Naturw. Rundschau 20. p. 377—378. 1905.
3) Phys. Z. S. 5. p. 210—213. 1904.
4) Phys. Z. S. 8. p. 107.

Rolle. Himstedt (l. c.) schiebt einen Teil der Schuld auf die Art des Auffangens des Wassers. Doch glaube ich nicht, dass diese Erklärung hier zutrifft.

Die Beobachtungen der zweiten Untersuchung des Wassers des kleinen Brunnens erstreckten sich über 4 Tage. Ich berechnete aus ihnen die Abklingungskonstante und fand

$$\lambda = 0{,}00000226 \text{ Sek.}^{-1}$$

Obgleich die beiden Brunnen verhältnismässig wenig weit auseinander liegen und obgleich beide in derselben Bodenart stehen, nämlich im älteren Porphyr, so ist der Emanationsgehalt ihres Wassers doch auffallend verschieden gross. Während der kleine Brunnen das am stärksten aktive aller vorliegenden Wässer enthält, ist das des grossen Brunnen am wenigsten radioaktiv. Eine Erklärung für diese Erscheinung konnte ich nicht finden.

Zur besseren Veranschaulichung vergleiche ich die ionisierende Wirkung dieses so stark aktiven Wassers noch mit einigen Wässern, die als besonders stark aktiv bereits bekannt sind. Es sind dies die Wittekinder und Fürstentaler Sole und die Gasteiner Quellen. Die Aktivität von 1 l Wittekinder Sole beträgt nach Schenk[1]) 3,341 Mikrocoulomb., d. h. 10,023 Mache-Einheiten.

Für das Wasser aus Fürstental fand ich 13,46 Mache-Einheiten. Nach einer Untersuchung der Gasteiner Quellen von Herrn Geheimrat Dorn[2]) beträgt die Aktivität der Lainer- oder Chirurgenquelle 52,93 Mache-Einheiten, die der Giftquelle, die oberhalb Gastein liegt, 2,98 Mache-Einheiten. Die mittlere Aktivität des grossen Brunnens am Galgenberg fand ich zu 0,18 Mache-Einheiten, die des kleinen zu 39,32 Mache-Einheiten. Ein Vergleich mit den angegebenen Wässern ergibt, dass der kleine Brunnen am Galgenberg

1) Dissert. Halle a. S. 1905.
2) Dorn, Abh. d. Naturf. Ges. 25. p. 107.

3,9 mal so stark radioaktiv ist, als die Wittekinder Sole.
2,9 „ „ „ „ „ „ „ Fürstentaler „
0,7 „ „ „ „ „ „ „ Lainer Quelle
13,2 „ „ „ „ „ „ „ Giftquelle
und 221,9 mal so stark radioaktiv ist, als der grosse Brunnen am Galgenberg.

Unter allen bisher aus Halle a. S. und Umgegend untersuchten Wässern nimmt das des kleinen Brunnen in Bezug auf Radioaktivität die erste Stelle ein.

Bei der Aufnahme der Kurve rechnete ich wegen der erhaltenen grossen Ausschläge die Skalenteile pro Minute in Volt pro Minute um und trug diese als Ordinaten ein.

Eine verhältnismässig hohe Aktivität zeigt auch das Wasser bei Brachwitz. Der Brunnen gehört zum dritten Steinbruch auf dem linken Saaleufer; die Bodenart ist Porphyr und zum Teil Triebsand. Auch der Brunnen in Delitz a. B. ist verhältnismässig stark radioaktiv, obgleich sonst alle im Buntsandstein stehenden Wässer nur wenig Aktivität zeigen.

Aus der Tabelle I ersieht man, dass die Ergebnisse mit den von Ebler[1]) und H. W. Schmidt und K. Kurz[2]) gefundenen Resultaten übereinstimmen, dass nämlich das aus Eruptivgestein kommende Wasser im allgemeinen am stärksten aktiv ist, wenig aktiv das aus Buntsandsteingebieten stammende Wasser.

b) Brunnen mit Radium- und Thoremanation.

Die folgenden Wasserproben zeigten in ihrem Verhalten die Eigenschaften eines Gemisches von Radium- und Thoremanation. Die beigegebenen Kurven stellen eine Kombination der Radium- und Thorkurve dar. Bei einigen Wässern überwog der Radiumanstieg derart, dass er trotz des Thorabfalls noch deutlich wahrzunehmen war.

---

1) Ebler. Verh. d. D. Phys. Ges. 11. p. 526—543. 1909.
2) H. W. Schmidt und K. Kurz. Phys. Z. S. 7. p. 209.

Tabelle II.

Brunnenort	Moment des Schöpfens	Zeit der Untersuchung a	b	c	Volumen ccm	Empfindlichkeit	Natürl. Zerstreuung a	b	Ausschlag nach Schluß des Durchlüftens
Tongrube am Wege Dölau-Salzmünde	28. 4. 4^{30} N.	29. 4.	3^{44} N.	4^{46} N.	3150	127,84	1,1	0,8	6,4
Beesen	6. 5. 11^{15} V.	7. 5.	11^{20} V.	12^{20} V.	850	127,97	0,6	0,6	47,4
Passendorf	18. 5. 10^{15} V.	19. 5.	4^{29} N.	5^{29} N.	850	125,29	0,6	0,6	31,2
Radewell	24. 5. 6^{00} N.	25. 5.	10^{51} V.	11^{51} V.	850	125,21	1,0	0,8	31,1
Beuchlitz	18. 5. 11^{25} V.	20. 5.	10^{19} V.	11^{19} V.	850	124,27	0,8	0,9	12,9
Holleben	18. 5. 11^{45} V.	20. 5.	3^{16} N.	4^{16} N.	850	124,80	1,0	0,8	10,4
Gutjahr-Brunnen	21. 4. 2^{45} N.	22. 4.	11^{17} V.	12^{17} N.	3150	128,86	1,5	1,2	33,4
Unter-Maschwitz	2. 5. 4^{45} N.	3. 5.	11^{35} V.	12^{35} N.	850	128,28	1,0	1,1	15,6
Ober-Maschwitz	2. 5. 5^{00} N.	4. 5.	11^{06} V.	12^{06} N.	850	127,51	1,1	1,4	10,7
Schiepzig	18. 4. 4^{15} N.	19. 4.	10^{10} V.	11^{10} V.	850	129,04	1,1	0,9	7,4
Tornau	2. 5. 5^{15} N.	4. 5.	4^{16} N.	5^{16} N.	850	127,45	2,5	1,6	4,1
Nietleben (Zgl. von Lincke & Ströfer)	21. 3. 3^{30} N.	22. 3.	10^{44} V.	11^{44} V.	3150	213,18	6,6	3,4	8,4
Zscherben	18. 5. 11^{00} V.	19. 5.	10^{20} V.	11^{20} V.	850	125,48	1,1	1,1	2,7
Dölau (Waldfrieden)	11. 4. 3^{45} N.	13. 4.	9^{57} V.	10^{57} V.	850	128,34	1,1	1,2	6,8
Dölau (Baensch)	11. 4. 4^{30} N.	12. 4.	10^{36} V.	11^{36} V.	850	128,88	2,6	1,3	1,6
Lettin	14. 4. 11^{45} V.	15. 4.	3^{41} N.	4^{41} N.	850	128,53	2,1	1,2	2,7
Lettin	25. 6. 3^{50} N.	27. 6.	12^{35} N.	1^{35} N.	700	127,93	0,8	0,6	25,3
Seeben	8. 4. 4^{00} N.	9. 4.	10^{18} V.	11^{18} V.	850	128,72	1,5	1,3	22,1
Seeben	22. 6. 4^{15} N.	23. 6.	11^{20} V.	12^{20} V.		126,68	0,6	0,4	14,2
Dieskau	6. 5. 12^{15} N.	6. 5.	4^{13} N.	5^{13} N.	850	127,64	0,8	0,9	30,2
Mötzlich	2. 5. 4^{15} N.	5. 5.	10^{51} V.	11^{51} V.	850	128,48	0,9	0,8	12,3
Bohrloch Radewell	31. 5. 12^{30} N.	1. 6.	3^{25} N.	4^{25} N.	550	125,23	1,3	0,6	6,6
I	II	a	b III	c	IV	V	a VI	b	VII

Ausschlag beim Beginn des Entfernens der Emanation	Erregte Aktivität	Mache-Einheiten R	Th	R+Th.	R, Th.	Brunnentiefe	Bodenart
		a	b	c		m	
0,3	—	0,0090	0,1519	0,1609	0,06	15	vertont. unt. Buntsandstein
60,4	25,8	1,7815	0,1619	1,9434	11,00	4	Niederterrasse der Saale
38,7	16,4	1,2285	0,1349	1,3634	9,11	8	Saaleschotter
40,3	18,3	1,0961	0,1480	1,2441	7,41	11	Schotter der Niederterrasse
16,4	7,9	0,5355	0,0921	0,6276	5,81	4	Saaleschotter der Aue
12,8	5,2	0,4937	0,0349	0,5286	14,13	9	„ „ „
42,0	18,0	0,6978	0,0791	0,7769	8,83	30	Zechstein
18,2	8,1	0,4986	0,1190	0,6176	4,19	10	Geschiebelehm und Tertiär
14,0	7,4	0,3908	0,0984	0,4892	3,97	10	„ „ „
9,6	4,3	0,2595	0,0306	0,2901	8,49	26	unterer Buntsandstein
4,5	1,7	0,1722	0,0257	0,1979	6,71	16	Geschiebelehm und Tertiär
7,2	—	0,1253	0,0164	0,1417	7,63	$4^1/_2$	vertonter mittlerer Buntsandstein
3,4	1,3	0,1096	0,0087	0,1183	12,62	10	Geschiebelehm und Tertiär, Sand evtl. Ton u. Braunk.
9,8	6,0	0,2237	0,0849	0,3086	2,63	10	Kaolin (Porphyr?)
1,6	0,8	0,0396	0,0254	0,0650	1,56	18	Kaolin
3,2	1,3	0,1005	0,0136	0,1141	7,41		
		0,7628	0,0465	0,8098	16,00	18	jüngerer Porphyr
32,0	13,1	1,4252	0,0794	1,5046	17,94		
28,2	12,5	0,7693	0,0970	0,8663	7,93		
		0,6476	0,0700	0,7476	9,25	8	Tertiär, Sand, Ton, Braunkohlen evtl. Kaolin
18,2	7,7	0,5259	0,0430	0,5689	12,22		
38,2	15,5	1,0065	0,0683	1,0748	14,73	10	Saaleschotter und Tertiär
14,9	6,2	0,6082	0,0552	0,6634	11,00	4	Geschiebelehm und Tertiär
8,7	4,0	0,4089	0,0479	0,4568	8,54	60	Schotter der Niederterrasse
VIII	IX	a	b X	c	XI	XII	XIII

Ich gebe meine Resultate in Tabelle II wieder. Darin stehen in Reihe II der Tag der Untersuchung, der Beginn der Beobachtung nach gleichmässiger Verteilung der Emanation und der Moment des Entfernens der Emanation. In Reihe VII sind die nach Schluss des Durchlüftens beobachteten Nadelausschläge in Skalenteilen pro Minute nach Abzug der natürlichen Zerstreuung verzeichnet. In Reihe X steht die gefundene radioaktive Wirkung der in 1 l Wasser enthaltenen Emanationsmenge zur Zeit des Einfüllens ausgedrückt in Mache-Einheiten, und zwar steht unter a der allein der Radiumemanation zukommende Betrag, unter b der auf die Thoremanation entfallende Teil und unter c die Gesamtaktivität des Wassers. In Reihe XI habe ich das Verhältnis der Wirkung der Radiumemanation zu der der Thoremanation gebildet. Die Bedeutung aller übrigen Reihen ist dieselbe wie in Tabelle I.

Brunnen der Tongrube am Wege Dölau-Salzmünde.

Alle vorliegenden Wasserproben enthalten mehr Radium- als Thoremanation. Eine Ausnahme macht nur der Brunnen der Tongrube am Wege Dölau-Salzmünde. Er liegt auf der rechten Seite der Strasse, kurz bevor der Weg nach Schiepzig abbiegt. Das Wasser wurde zweimal untersucht und zweimal wurde mehr Thor- als Radiumemanation gefunden. Die Versuche wurden beide mit der Schüttelflasche ausgeführt. Das Umblasen der Emanation dauerte zwei Minuten. Ich gebe die Nadelausschläge des letzten Versuchs in den ersten Minuten nach Abzug der natürlichen Zerstreuung wieder. Es wurde bei allen Versuchen von Minute zu Minute abgelesen.

Zeit	Skte/Min.
3^{44}	6,4
	4,4
	2,4
	0,7
	0,0
	1,6
	0,8

Der zweite Abfall im Verlauf der Kurve ist so zu erklären, dass bei der geringen Menge vorhandener Radiumemanation bereits nach 15—20 Minuten Gleichgewicht eingetreten ist und nunmehr der normale Zerfall der Emanation beginnt. Bei der ersten Untersuchung war bereits nach 50 Minuten keine Radiumemanation mehr nachzuweisen. Eine erregte Aktivität wurde in beiden Fällen nicht beobachtet, sie wurde darum in der Rechnung vernachlässigt.

Beesen und Passendorf.

Nachdem 10 Minuten lang ein Luftstrom das Wasser gleichmässig durchperlt hatte, wurden mit Berücksichtigung der natürlichen Zerstreuung folgende Nadelablenkungen beobachtet.

Beesen		Passendorf	
Zeit	Skte/Min.	Zeit	Skte/Min.
11^{20}	47,4	4^{29}	31,2
	44,9		29,7
	47,9		28,9
	49,4		29,0
	50,2		31,2
	geerdet		31,9
	46,3		32,0
	52,0		32,7
	49,9		32,1
	51,0		

Radewell.

Aus Radewell untersuchte ich zwei verschiedene Wasserproben. Die eine schöpfte ich aus einem Hausbrunnen am Dorfplatz, die andere entnahm ich einem bei der Pappfabrik gerade angelegten Bohrloch von 60 m Tiefe. Das Wasser wurde mittels Literflaschen aus einer Tiefe von 55 m geschöpft. Von dem Wasser des Bohrlochs untersuchte ich

auch das Sediment. Das Ergebnis sei an anderer Stelle mitgeteilt.

Die anfängliche Aktivität der beiden Wasserproben ergab folgende Ausschläge:

Bohrloch Radewell		Brunnen in Radewell	
Zeit	Skte/Min.	Zeit	Skte/Min.
3^{25}	6,6	10^{51}	31,1
	6,4		30,4
	7,7		29,7
	5,3		31,1
	6,3		30,7
	6,2		31,6
			31,5
3^{33}	6,0		31,4
	6,5		32,6
	6,1		32,9

Da bei der Untersuchung des Wassers des Bohrlochs ziemliche Schwankungen auftraten, so hätte ich den Versuch gern wiederholt. Leider musste ich davon absehen, da ich keine zweite Wasserprobe entnehmen konnte. Wie der Verlauf der Kurve zeigt, gehört die Probe ausserdem zu denjenigen Wässern, bei denen der Radiumanstieg den Thorabfall zunächst verdeckt. In der Stärke ihrer radioaktiven Wirkung sind beide Brunnen sehr von einander verschieden. Das Brunnenwasser ergab 1,2441 M.-E., das Wasser des Bohrlochs nur 0,4568 M.-E.

Beuchlitz und Holleben.

Die beiden Dörfer liegen dicht nebeneinander und haben den gleichen Untergrund, nämlich Saaleschotter der Aue. Die eine Wasserprobe wurde am Eingang von Beuchlitz, die andere am Ende von Holleben geschöpft. Die Aktivität beider Proben ist wenig verschieden. Beobachtet wurden in den ersten Minuten folgende Ausschläge.

Beuchlitz		Holleben	
Zeit	Skte/Min.	Zeit	Skte/Min.
10^{19}	12,9	3^{16}	10,4
	12,3		8,7
	11,4		9,6
	12,6		10,0
	12,0		11,2
	12,6		10,4
	12,5		10,3
	12,4		10,2
	12,7		10,3
	13,4		

Gutjahr-Brunnen.

Die Sole dieses Brunnens, der zur Gründung der Stadt geführt hat, entspringt unmittelbar aus dem Zechstein. Die zur Untersuchung benutzte Probe schöpfte ich in 30 m Tiefe direkt an der Quelle. Der Versuch wurde mit der Schüttelflasche ausgeführt. Die Nadelablenkungen in den ersten Minuten nach dem Umblasen der Emanation waren folgende.

Zeit	Skte/Min.
10^{17}	33,4
	32,7
	30,9
	32,6
	33,8
	35,2
	35,1
	35,7
	36,4

Im Gegensatz zu der Fürstentaler und Wittekinder Sole war die Sole des Gutjahr-Brunnen nur wenig aktiv. Die Zahlen sind folgende:

Wittekinder Sole 10,023 Mache-E.
Fürstentaler „ 13,46 „
Sole des Gutjahr-Brunnen 0,78 „

Nur in dem letzten Wasser konnte ausser Radium- auch Thoremanation nachgewiesen werden. Ausgeschlossen ist es jedoch nicht, dass auch in der Fürstentaler Sole eine ganz geringe Menge Thoremanation enthalten ist, die aber von der bei weitem überwiegenden Radiumemanation vollkommen verdeckt wird. Das Ergebnis der Untersuchung der gleichzeitig mit der Sole entnommenen Zechsteinprobe gebe ich an späterer Stelle wieder.

Unter- und Ober-Maschwitz und Tornau.

Alle drei Dörfer liegen nördlich der Stadt, ihr Untergrund besteht aus Geschiebelehm und Tertiär. Die verwandte Wassermenge war bei allen gleich, die Empfindlichkeit nur wenig verschieden. Nach beendetem Durchperlen des Wassers wurden nachstehende Ablenkungen beobachtet:

Unter-Maschwitz		Ober-Maschwitz		Tornau	
Zeit	Skte/Min.	Zeit	Skte/Min.	Zeit	Skte/Min.
11^{35}	15,6	11^{06}	10,7	4^{16}	4,1
	13,8		10,4		3,5
	14,0		8,8		3,5
	14,5		10,8		2,5
	15,3		10,4		3,1
	15,2		10,9		3,1
	15,6		10,1		3,6

Schiepzig.

Das Wasser wurde aus einem offenen 26 m tiefen Brunnen mitten im Dorfe geschöpft. Die Ausschläge der ersten Minuten nach gleichmässiger Verteilung der Emanation gebe ich im folgenden an.

Zeit	Skte/Min.
10^{10}	7,4
	6,6
	6,5
	6,6
	7,4
	8,0
	7,7

Nietleben.

Der Brunnen, dem die Wasserproben entnommen wurden, steht auf der Wiese hinter der Ziegelei von Lincke und Ströfer und ist $4^1/_2$ m tief. Da die ersten mit 1 l Wasser ausgeführten Versuche nicht mit Sicherheit die Natur des radioaktiven Gases erkennen liessen, untersuchte ich eine grössere Probe mit Hilfe der Schüttelfasche bei gesteigerter Empfindlichkeit, 1 Volt Potentialdifferenz bewirkte eine Ablenkung von 213,18 Skalenteilen. Die erhaltenen Ausschläge in den ersten Minuten waren folgende:

Zeit	Skte/Min.
10^{44}	8,4
	6,2
	5,6
	6,9
	5,5
	6,6
	6,8
	6,1
	6,3
	6,6
	6,6

Trotz der auftretenden Schwankungen ist in dem Verlauf der Kurve doch ein deutlicher Abfall mit darauf folgen-

dem Anstieg zu erkennen. Das Wasser enthält also im Gegensatz zu dem anderen Wasser aus Nietleben, dem Wasser des Brunnens der Ziegelei von Friedrich, beide Emanationsarten. Eine erregte Aktivität war nicht wahrzunehmen. Sie wurde darum in der Rechnung vernachlässigt.

Zscherben.

Das Dorf hat bereits seit einigen Jahren Wasserleitung. Es sind darum fast alle Brunnen schon verschüttet. Ich schöpfte das Wasser aus einem seit etwa 2 Jahren nicht mehr benutzten Dorfbrunnen. Die nach Schluss des Durchlüftens erhaltenen Ablenkungen waren folgende:

Zeit	Skte/Min.
10^{20}	2,7
	2,5
	2,1
	2,0
	2,2
	2,7
	2,6
	2,7
	2,5
	2,5

Dölau.

Aus Dölau untersuchte ich das Wasser der Villa „Waldfrieden“ und das der Kaolingrube von Baensch. Die anstehende Bodenart des ersten Brunnen ist nach Angaben der Brunnenbauer Porphyr und Kaolin, die des zweiten weisser Ton und Kaolin. Es wurden folgende Ausschläge beobachtet:

Villa „Waldfrieden“		Kaolingrube v. Baensch	
Zeit	Skte/Min.	Zeit	Skte/Min.
9^{57}	6,8	10^{36}	1,6
	5,8		0,9
	6,8		0,5
	5,7		0,8
	5,4		0,7
	6,2		1,3
	6,1		1,8
	6,3		0,9
	6,8		2,2
			1,8

Die Kurve des Wassers der Kaolingrube zeigt ebenfalls nach etwa 20 Minuten ein Maximum, um dann allmählich wieder zu fallen. Die Aktivität beider Proben ist sehr verschieden. Es ergaben sich für das Wasser der

Villa „Waldfrieden“ 0,3086 Mache-Einheiten,
für das der Kaolingrube nur 0,0650 „ „

Lettin und Seeben.

Das Lettiner Wasser entnahm ich dem Brunnen im Hause Schulberg 2, das Seebener dem im Hause des Schlossermeisters Zwanzig. Etwa 2 Monate nach der ersten Untersuchung nahm ich mit neuen Proben eine zweite Untersuchung vor, da die Beobachtungen der ersten Versuche kein genügend klares Bild von der Natur des radioaktiven Gases ergaben. Auch bei diesen zweiten Untersuchungen war erst nach der zweiten Minute ein deutlicher Thorabfall zu erkennen. Die Ausschläge der ersten Minuten nach Schluss des Durchlüftens gebe ich (S. 44) wieder.

Schon bei den ersten Versuchen mit dem Lettiner Wasser war mir ein eigenartiges Schäumen beim Durchperlen aufgefallen, das bei einer späteren am 24. 6. vorgenommenen Untersuchung so stark war, dass infolge

Lettin		Seeben	
Zeit	Skte/Min.	Zeit	Skte/Min.
12^{35}	25,3	11^{20}	14,2
	25,2		14,3
	24,1		11,8
	26,8		12,9
	26,6		12,8
	26,5		13,4

Überfliessens von Wasser in die Leitung der Versuch abgebrochen werden musste. Am 27. 6. wurde darum eine kleinere Wassermenge, nur 700 ccm, verwandt. Der Lettiner Brunnen ist der einzige von allen nur im Porphyr stehenden Brunnen, dessen Wasser neben Radium- auch Thoremanation aufweist.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, ergaben die Untersuchungen des Wassers

des Seebener Brunnen	am	8. 4.	0,8663 M.-E.
	„	22. 6.	0,5689 „ „
des Lettiner Brunnen	„	14. 4.	0,1141 „ „
	„	25. 6.	1,5046 „ „

Bei dem Wasser in Seeben war eine Abnahme, bei dem in Lettin eine Zunahme der Aktivität zu beobachten. Vielleicht lassen sich die Erscheinungen folgendermassen erklären: Vor der Entnahme der ersten Proben hatte es lange Zeit nicht geregnet, während der Entnahme der zweiten Proben gewaltige Niederschläge vorangegangen waren. Der Seebener Brunnen enthält Sickerwasser. Erhält also der Brunnen keinen neuen Zufluss, so erfolgt besonders in den unteren Schichten ein Anreichern der Emanation durch Absorption. Kommt dann Regenwasser, das noch nicht mit Emanation gesättigt ist hinzu, so hat man eine geringere radioaktive Wirkung zu erwarten. Das Lettiner Wasser dagegen ist Spaltenwasser. Es wird von dem in

den Spalten stehenden Wasser auf das in dem Brunnen sich befindende immer ein leichter Druck ausgeübt werden. Infolgedessen geht ein Teil der gasförmigen Emanation in die Luft ab. Tritt nun Regen ein, so bekommt das im Brunnen stehende Wasser Zufluss an Wasser, das noch nicht oder nur gering durch anhaltenden Druck Emanation an die Atmosphäre abgegeben hat. Ich musste also eine grössere Aktivität erhalten. Natürlich ist auch hier bei der Emanationsabgabe der Luftdruck von grossem Einfluss.

Dieskau und Mötzlich.

Auch bei diesen Brunnen glaube ich trotz des Anstiegs in der ersten Minute noch mit Bestimmtheit auf Thoremanation schliessen zu können. Es wurde in den ersten Minuten beobachtet.

Dieskau		Mötzlich	
Zeit	Skte/Min.	Zeit	Skte/Min.
4^{13}	30,2	10^{51}	12,3
	30,9		12,9
	29,6		10,7
	29,3		11,2
	30,2		12,2
			13,2

Im Folgenden fasse ich die Ergebnisse aller Untersuchungen tabellarisch nach den Bodenarten geordnet nochmals zusammen.

Die Bedeutung der einzelnen Reihen ergibt sich von selbst.

Alle untersuchten Wasserproben enthielten mehr oder weniger Radiumemanation. Thoremanation konnte ausserdem nachgewiesen werden in Wasser aus Kaolin, Tonen und Sedimenten, mit Ausnahme des Wassers aus Benkendorf. Wasser aus unterem Buntsandstein enthielt beide

Tabelle III.

Brunnenort	Bodenart	Natur des gefundenen rad. Gases	Mache-Einheiten			R/Th.
			R+Th.	R.	Th.	
Kleiner Brunnen am Galgenberg	älterer Porphyr	R.	39,323	39,323	—	—
Großer Brunnen am Galgenberg	„ „	R.	0,1772	0,1772	—	—
Wäscherei am Galgenberg	älterer Porphyr, darüber z. T. vertonter Porphyr	R.	1,6924	1,6924	—	—
Waldkater	vertonter und jüngerer Porphyr	R.	2,7849	2,7849	—	—
Brachwitz	(Triebsand) jüngerer Porphyr	R.	4,1241	4,1241	—	—
Lettin	jüngerer Porphyr	R+Th.	0,8098	0,7628	0,0465	16,90
Dölau (Waldfrieden)	Kaolin und jüngerer Porphyr	R+Th.	0,3086	0,2237	0,0849	2,63
Dölau (Baensch)	Kaolin und weißer Ton	R+Th.	0,0650	0,0396	0,0254	1,56
Schiepzig	unterer Buntsandstein	R+Th.	0,2901	0,2595	0,0306	8,49
Dölau (Tongrube)	vertonter unterer Buntsandstein	R+Th.	0,1609	0,0090	0,1519	0,06
Nietleben (Zgl. von Lincke & Ströfer)	vertonter mittlerer Buntsandstein	R+Th.	0,1417	0,1253	0,0164	7,63
Nietleben (Zgl. von Friedrich)	„ „ „	R.	0,2487	0,2487	—	—
Schlettau	mittlerer Buntsandstein	R.	0,9721	0,9721	—	—
Delitz a. B.	„ „	R.	2,3097	2,3097	—	—
Böllberg	„ „	R.	0,8556	0,8556	—	—
Wörmlitz	„ „	R.	0,6149	0,6149	—	—
Seeben	Sand, Ton, Lehm, Tertiär, z. T. vertonter Porphyr	R+Th.	0,7176	0,6476	0,0700	9,25
Zscherben	Geschiebelehm u. Tertiär, Sand evtl. Ton	R+Th.	0,1183	0,1096	0,0087	12,62
Mötzlich	„ „ „	R+Th.	0,6634	0,6082	0,0552	11,00
Tornau	„ „ „	R+Th.	0,1979	0,1722	0,0257	6,71
Ober-Maschwitz	„ „ „	R+Th.	0,4892	0,3908	0,0984	3,97
Unter-Maschwitz	„ „ „	R+Th.	0,6176	0,4986	0,1190	4,19
Dieskau	Saaleschotter und Tertiär	R+Th.	1,0748	1,0065	0,0683	14,73
Passendorf	Saaleschotter der Aue	R+Th.	1,3634	1,2285	0,1349	9,11
Beuchlitz	„ „ „	R+Th.	0,6276	0,5355	0,0921	5,81
Holleben	„ „ „	R+Th.	0,5286	0,4937	0,0349	14,13
Benkendorf	„ „ „	R.	0,8088	0,8088	—	—
Beesen	Niederterrasse der Saale	R+Th.	1,9433	1,7815	0,1618	11,01
Radewell	Schotter d. Niederterrasse d. Saale	R+Th.	1,2441	1,0961	0,1480	7,41
Bohrl. Radewell	„ „ „ „	R+Th.	0,4568	0,4089	0,0479	8,54
Gutjahr-Brunnen	Zechstein	R+Th.	0,7769	0,6978	0,0791	8,83
Cöllme	Muschelkalk	R.	2,2268	2,2268	—	—

Emanationsarten, solches aus mittlerem Buntsandstein nur Radiumemanation. Eine Ausnahme macht der Brunnen der Ziegelei von Linke und Ströfer in Nietleben. Wie schon vorher erwähnt, ist mir bei der Untersuchung des Lettiner Wassers ein eigenartiges Schäumen aufgefallen; vielleicht ist die dieses Schäumen verursachende Substanz auch die Ursache, dass der seiner geologischen Lage nach nur Radiumemanation versprechende Brunnen auch geringe Mengen eines Thorsalzes enthält. Eine strenge Beziehung zwischen Stärke der radioaktiven Wirkung und Natur des geologischen Untergrundes war nicht zu ermitteln. Im Allgemeinen waren Brunnen, deren Wasser nur Radiumemanation enthielt, stärker aktiv als solche, in deren Wasser beide Emanationsarten nachgewiesen werden konnten.

Zu einem einwandfreien Nachweis eines Zusammenhanges zwischen geologischem Untergrund und Stärke der Radioaktivität eines Wassers bedarf es zunächst genauer Kenntnis der Bodenart, aus der das Wasser stammt.

Weiter wäre zu beachten, ob das Wasser Spalten- oder Sickerwasser ist und ob es auf einer mehr oder weniger wasserdurch- oder wasserundurchlässigen Schicht steht. Es wären ferner der Luftdruck und die auftretenden Niederschläge und die durch sie bewirkten Änderungen an der Stärke der radioaktiven Wirkung zu berücksichtigen. Endlich müssten sich alle Proben unter gleichen Bedingungen schöpfen und sich der tägliche Wasserverbrauch feststellen lassen.

Sedimente.

In allen biser untersuchten Halle'schen Solwässern war nur Radiumemanation nachgewiesen worden. Nach meinen Beobachtungen musste in der Sole des Gutjahr-Brunnens ein radioaktives Gemisch von Radium- und Thoremanation enthalten sein. Es war dies umso auffallender, als Schenk[1]) in der diesem Brunnen entstammenden Sole der hiesigen Saline ebenfalls nur eine Zunahme der Leit-

1) Schenk, Dissert. Halle a. S. 1905.

fähigkeit festgestellt hat. Ich untersuchte darum das zu dieser Sole gehörige Sediment. Konnte ich in der Bodenprobe ebenfalls Radium- und Thoremanation nachweisen, so war wohl mit Bestimmtheit anzunehmen, dass in dem Wasser ein Thorsalz des Sedimentes gelöst ist. Später untersuchte ich auch noch die zu dem Radeweller Bohrloch gehörige Bodenprobe.

Bei der Ausführung dieser Versuche bediente ich mich der bereits von Gube[1]) und Viereck[2]) mit gutem Erfolg angewandten Methode der Drahtaktivierung.

In einem 5,6 m langen Zinkrohr von 12,0 cm Durchmesser wurden 6,0 kg der zu untersuchenden Bodenart in fein zerkleinertem und gut getrocknetem Zustand möglichst gleichmässig ausgebreitet. Das Rohr konnte zwecks bequemeren Füllens in 6 gleiche Teile zerlegt werden. Die Fugen wurden sorgfältig mit Papier verklebt. An den beiden Enden war es durch zwei angekittete Glasplatten verschlossen. In der Mitte dieser Platten befand sich eine kleine Ebonitscheibe, durch die ein 0,4 mm dicker, straff gespannter Kupferdraht führte. Beim Einführen des Drahtes wurde ein Berühren mit der Bodenprobe sorgfältigst vermieden. Mit Hilfe einer Batterie wurde der Draht auf ein negatives Potential von 600—700 Volt gespannt, der positive Pol wurde zur Erde abgeleitet. Nachdem der Draht in dieser Anordnung mindestens 3 Tage der sich entwickelnden Emanation ausgesetzt worden war, wurde er vorsichtig aus der Röhre genommen, auf ein Trommelgestell gewunden, in den Messzylinder gebracht und in der üblichen Weise das Abklingen des aktiven Beschlags beobachtet. Die Zeit von der Abnahme der Spannung bis zur ersten Ablesung betrug stets 10 Minuten.

Die Bodenprobe des Gutjahr-Brunnens bestand aus Zechstein. Die Expositionszeit war 90 Stunden 37 Minuten. Die natürliche Zerstreuung betrug 1,61 Skte/Min., die Empfindlichkeit bei 1 Volt Potentialdifferenz 128,66 Skalenteile.

1) Gube, Dissert. Halle a. S. 1910.
2) Viereck, Dissert. Halle a. S. 1910.

Das Sediment des Radeweller Bohrlochs enthielt sehr verschiedene Bodenarten, überwiegend waren roter, blauer und weisser Ton und Buntsandstein vertreten. Zur Aktivierung wurde der Draht 113 Stunden 45 Minuten der Emanation ausgesetzt. Die natürliche Zerstreuung ergab 0,60 Skte/Min., die Empfindlichkeit betrug bei 1 Volt Spannung 125,45 Skalenteile. Es wurde nach Abzug der natürlichen Zerstreuung beobachtet:

Gutjahr-Brunnen		Bohrloch Radewell	
Zeit	Ausschlag in Skten/Min.	Zeit	Ausschlag in Skten/Min.
27. 4. 10^{19}	20,9	21. 6. 11^{25}	28,5
^{29}	18,4	^{32}	27,3
^{39}	17,2	^{40}	26,2
^{49}	16,6	^{50}	25,8
^{59}	14,8	12^{00}	25,1
11^{09}	13,6	^{12}	24,5
^{19}	13,2	^{20}	24,2
^{29}	12,5	^{30}	23,8
^{39}	12,0	^{40}	23,2
^{49}	11,3	^{50}	23,4
^{59}	11,0	1^{00}	22,8
12^{09}	10,4	^{10}	22,0
^{19}	10,4	^{20}	22,2
1^{05}	9,7	^{55}	22,1
^{15}	9,3	2^{05}	22,0
^{25}	8,6	4^{25}	18,0
3^{19}	7,4	6^{35}	15,7
^{29}	7,0	22. 6. 9^{50}	6,6
^{39}	7,0	12^{00}	5,9
6^{19}	6,1	3^{25}	4,8
^{29}	6,0	6^{25}	3,8
28. 4. 10^{34}	2,2		
^{44}	2,2		
11^{34}	2,2		
^{44}	2,1		
3^{19}	1,5		
^{29}	1,7		
6^{34}	1,1		
^{54}	1,2		

Nach diesen Werten konstruierte ich die beiden für die Bodenproben beigegebenen Kurven. Beide stellen eine Kombination der Radium- mit der Thorkurve dar. Sie zeigen in ihrem Verlauf anfangs den steilen Abfall des Radiumniederschlags, während sie gegen Ende infolge des langsamen Zerfalls des Thorniederschlags merklich flach auslaufen. Bei der Zechsteinprobe ist die Wirkung der Radiumprodukte, bei der Bodenprobe des Radeweller Bohrlochs die der Thorprodukte vorherrschend.

Zur Trennung der Kurven wandte ich das Verfahren von Viereck (l. c.) an. 5 Stunden nach der ersten Ablesung ist der rasch zerfallende Radiumniederschlag auf einen praktisch unmerklichen Wert gesunken. Alle nach dieser Zeit beobachteten Ausschläge sind eine Wirkung der erregten Thoraktivität. Mit Hilfe der Formel:

$$J^t_{Th} = J^0_{Th}\left(\frac{\lambda_3}{\lambda_3-\lambda_2}\cdot e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_3-\lambda_2}\cdot e^{-\lambda_3 t}\right)$$

kann ich demnach aus ihnen die Thorkurve berechnen. Die Bedeutung der einzelnen Grössen gebe ich weiter unten an (S. 51). Bringe ich dann die durch Rechnung gefundenen Werte von den beobachteten in Abzug, so müssen die Differenzen beider die Wirkung des Radiumniederschlags ergeben. In analoger Weise kann man dann aus diesen Werten durch Rechnung die Radiumkurve gewinnen. Es ist:

$$J^t_R = \frac{J^0_R}{\frac{k_1}{k_2}+1+\frac{k_3}{k_2}}\left[\left(\frac{k_1}{k_2}+\frac{\lambda_2}{\lambda_2-\lambda_1}+\frac{\lambda_3\cdot\lambda_2}{(\lambda_2-\lambda_1)(\lambda_3-\lambda_1)}\cdot\frac{k_3}{k_2}\right)\cdot e^{-\lambda_1 t}\right.$$

$$\left. -\frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1}\left(1+\frac{\lambda_3}{\lambda_3-\lambda_2}\cdot\frac{k_3}{k_2}\right)\cdot e^{-\lambda_2 t}+\frac{\lambda_1\cdot\lambda_2}{(\lambda_3-\lambda_2)(\lambda_3-\lambda_1)}\cdot\frac{k_3}{k_2}\cdot e^{-\lambda_3 t}\right]$$

Da der Draht bei beiden Versuchen verschieden lange Zeit der Emanation ausgesetzt worden war, so rechnete ich zum Vergleich die Ergebnisse nach folgenden Überlegungen auf ein und dieselbe Expositionszeit um. Am einfachsten

ist es anzunehmen die Emanationen und ihre Zerfallsprodukte befinden sich im Gleichgewicht, d. h. die Expositionszeit unendlich zu wählen. Das Gleichgewicht für Thoremanation und deren Niederschlag ist bei einer Expositionszeit von über drei Tagen schon vorhanden. Eine Umrechnung ist infolgedessen nicht mehr nötig. Radiumemanation dagegen braucht zur Erreichung des Gleichgewichtszustandes nach Dadourian[1]) mehr als 25,3 Tage. Da ich aber den Draht nicht solange der Emanation aussetzte, so ermittelte ich die entsprechende Anfangsintensität des aktiven Niederschlags nach der Formel:

$$J_{Ra.} = \frac{J^0_{Ra.}}{1 - e^{-\lambda\Theta}}.$$

Bei der Angabe der Formeln habe ich von der langwierigen Entwickelung abgesehen. Ich verweise deswegen auf die Arbeiten von Gruner[2]) und Viereck (l. c.). Im Folgenden will ich nur noch die Bedeutung der einzelnen Zeichen angeben. Es bedeuten:

J^0 die Intensität des aktiven Beschlags am Ende der Expositionszeit.

J^t die Intensität des aktiven Beschlags t Sekunden nach Schluss der Exposition.

J_R, J_{Th} die Intensitäten der erregten Aktivitäten im Gleichgewichtszustand ($\Theta = \infty$).

λ_1, λ_2, λ_3 die den betreffenden Zerfallsprodnkten zukommenden Abklingungskonstanten.

$k_1 : k_2 : k_3 = 6 : 1 : 8$, nach H. W. Schmidt,[3]) sind Proportionalitätsfaktoren, die Intensität und Wirkungsbereich der verschiedenen Strahlen zum Ausdruck bringen.

Unter Benutzung der angegebenen Formeln und Rechnungsart kam ich zu folgenden Ergebnissen.

1) Dadourian, Phys. Z. S. 9. p. 333.
2) Gruner, Annalen d. Phys. 19. p. 169.
3) H. W. Schmidt, Annalen d. Phys. 21. p. 609.

Sediment	Gesamtakt. $J_R + J_{Th.}$ Volt/Min.	J_R Volt/Min.	$J_{Th.}$ Volt/Min.	$\frac{J_R}{J_{Th.}}$
Gutjahr-Brunnen .	0,4640	0,3927	0,0713	5,51
Bohrloch Radewell	0,2696	0,0720	0,1976	0,36

d. h. es enthält das Sediment des Gutjahr-Brunnen 84,6% R, 15,4% Th, das des Bohrlochs Radewell 26,7% R, 73,3% Th.

Es ist somit wohl mit Sicherheit anzunehmen, dass in der Sole des Gutjahr-Brunnen ausser Radium- auch Thoremanation enthalten ist, desgleichen im Wasser des Radeweller Bohrlochs.

Zu bemerken ist noch, dass das Verhältnis der Radiumemanation zur Thoremanation in beiden Wässern fast gleich ist, obgleich die Zusammensetzung der radioaktiven Wirkung der Sedimente sehr verschieden gefunden wurde. Die Emanationen scheinen demnach vom Wasser nicht in gleicher Weise absorbiert zu werden. So fand auch Viereck in dem Ton der Grube am Wege Dölau-Salzmünde eine überwiegende Wirkung der Radiumzerfallsprodukte, während ich in dem Brunnenwasser viel Thoremanation und nur ganz wenig Radiumemanation fand.

Zusammenfassung der Resultate.

Das Ergebnis vorliegender Untersuchungen ist folgendes:

1. Alle untersuchten 32 verschiedenen Brunnenwässer zeigten sich radioaktiv. Bei 20 verschiedenen Wässern konnte auch Thoremanation nachgewiesen werden.

2. Eine Abhängigkeit der Stärke der Aktivität von den geologischen Verhältnissen bestand insofern, als Wasser aus Eruptivgestein im allgemeinen stärker aktiv war, als solches aus Sedimentärgestein. Am stärksten aktiv war das Wasser des kleinen Brunnens am Galgenberg, am schwächsten das der Kaolingrube von Baensch.

3. Zwischen der umgebenden Bodenart und der Natur des radioaktiven Gases bestand ein Zusammenhang. Thoremanation war neben Radiumemanation in Wässern aus Sedimenten, Tonen und Kaolin enthalten.

4. Eine Abhängigkeit der Stärke der Aktivität von der Tiefe des Brunnens konnte nicht ermittelt werden.

5. Die nur Radiumemanation aufweisenden Wässer sind im allgemeinen stärker aktiv befunden worden, als solche, in denen beide Emanationsarten nachgewiesen wurden.

6. Bei einzelnen Brunnen konnten bedeutende Schwankungen in der Stärke der Radioaktivität festgestellt werden.

7. Das Wasser des kleinen Brunnens am Galgenberg ist von allen bisher aus der Umgegend von Halle untersuchten Wässern das am stärksten radioaktive.

8. In beiden Sedimenten wurden Radium und Thorium gefunden. In der Zechsteinprobe überwog die Wirkung der Radium-, in der Radeweller Bodenprobe die der Thorprodukte.

Zum Schluss sei es mir auch an dieser Stelle gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn, für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit sowie für die stetige, liebenswürdige Unterstützung und Beratung bei ihrer Ausführung meinen verbindlichsten Dank ergebenst auszusprechen.

Lebenslauf.

Am 17. Juli 1886 wurde ich Willy Gustav Starke als Sohn des Kupferschmiedemeisters Gustav Starke und seiner Gattin Anna geb. Bauch zu Gera (Reuss) geboren. Ich bin evang.-luth. Konfession. Von Ostern 1893 bis Michaelis 1896 besuchte ich das Realgymnasium meiner Vaterstadt, von da bis Ostern 1898 die I. Bürgerschule und dann bis Ostern 1902 die Amthor'sche höhere Handelsschule zu Gera (Reuss). Auf dieser Schule erhielt ich die Berechtigung zum einjährig-freiwilligen Militärdienst. Nach nochmaligem 3jährigen Besuch des Realgymnasiums erlangte ich Ostern 1905 das Reifezeugnis. Ich ging sodann nach Leipzig, um meiner Militärpflicht zu genügen und mich gleichzeitig dem Studium der Mathematik, Physik und Chemie zu widmen. Ostern 1907 wandte ich mich zwecks Fortsetzung meiner Studien nach Halle a. S.

Vorlesungen und Übungen belegte ich bei folgenden Herren:

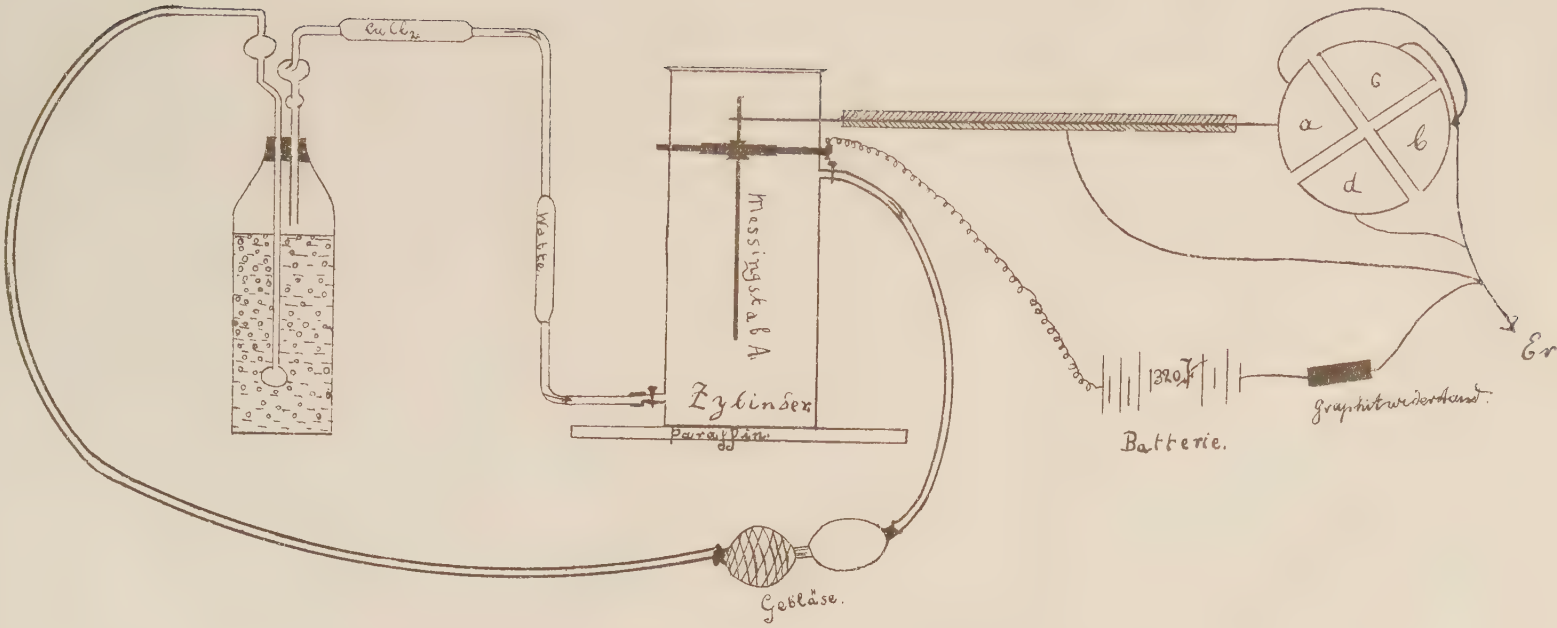
in Leipzig:

Bücher, Fischer, Hantzsch, Hausdorf, Hölder, Ley, Liebmann, v. Oettingen, Wiener.

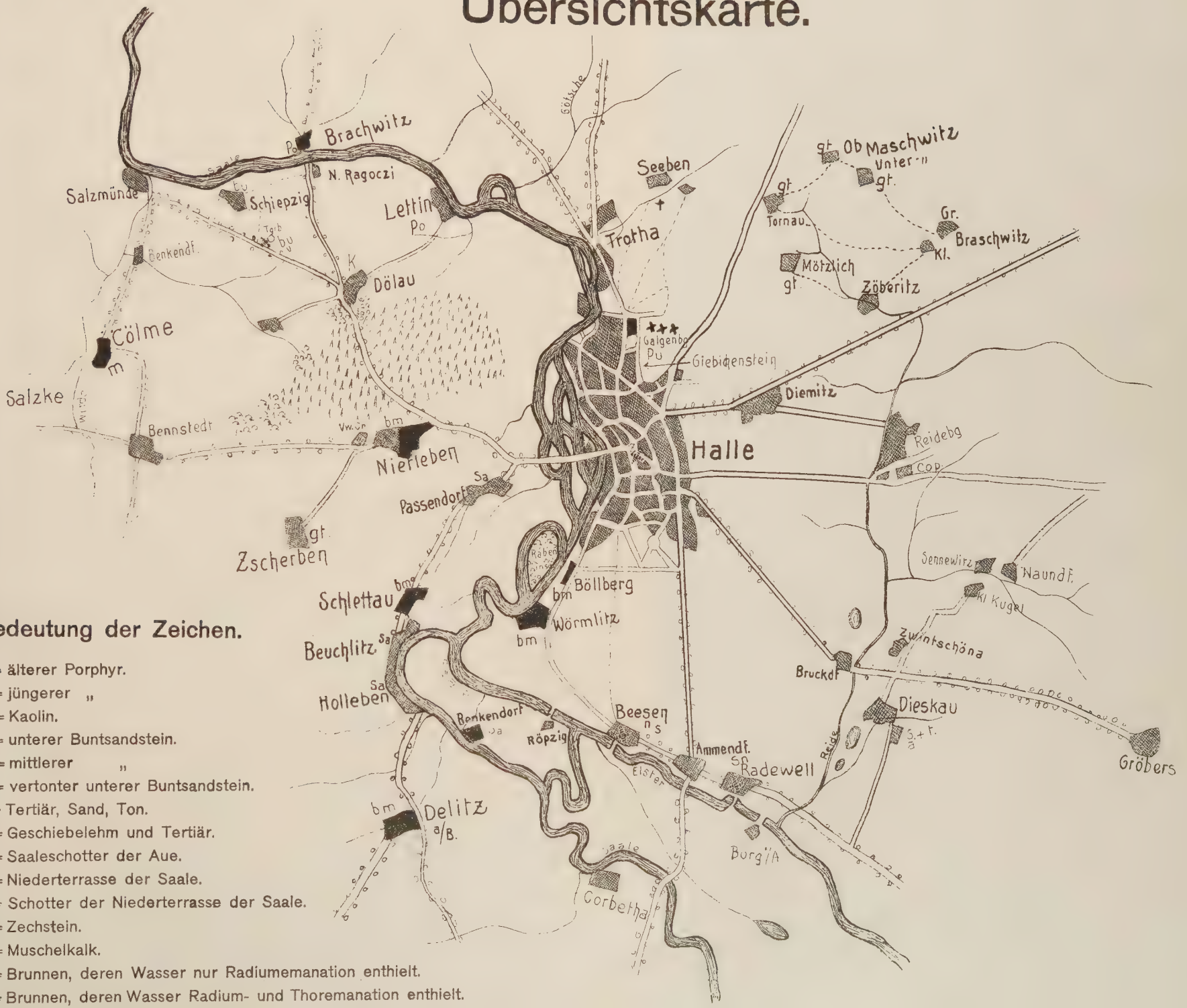
in Halle:

Cantor, Dorn, Ebbinghaus †, Eberhardt, Gutzmer, Krueger, Menzer, Schmidt, Schultze, Tubandt, Volhardt †, Vorländer, Wangerin, Wüst.

Alle diese meine verehrten Lehrer, insbesondere Herr Geh.-Rat Dorn, mögen meines dauernden Dankes versichert sein.

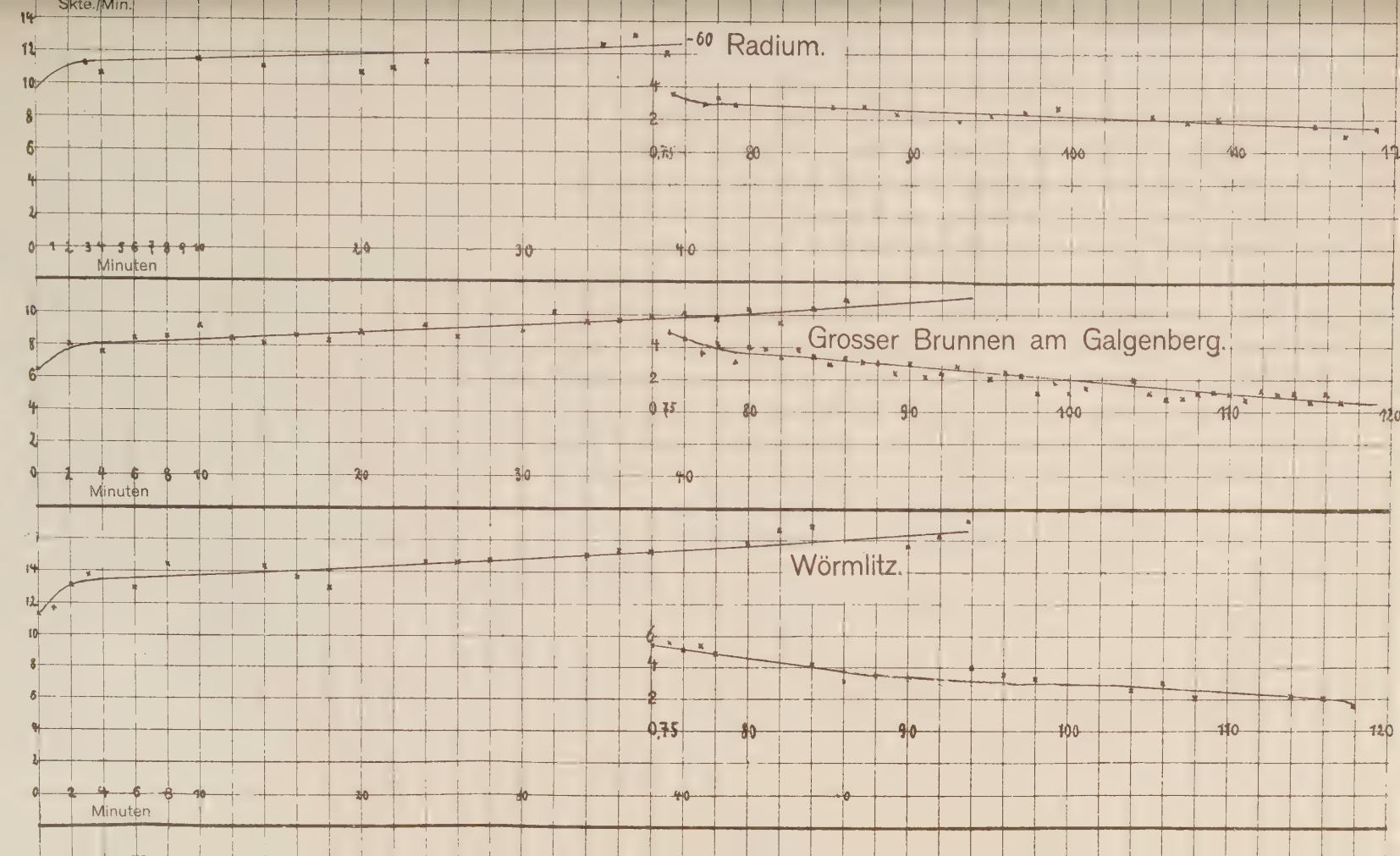

$CuCl_2$
Messingstab A
Zylinder
Paraffin
Gebläse.
320 V
Batterie.
Graphitwiderstand
a
b
c
d

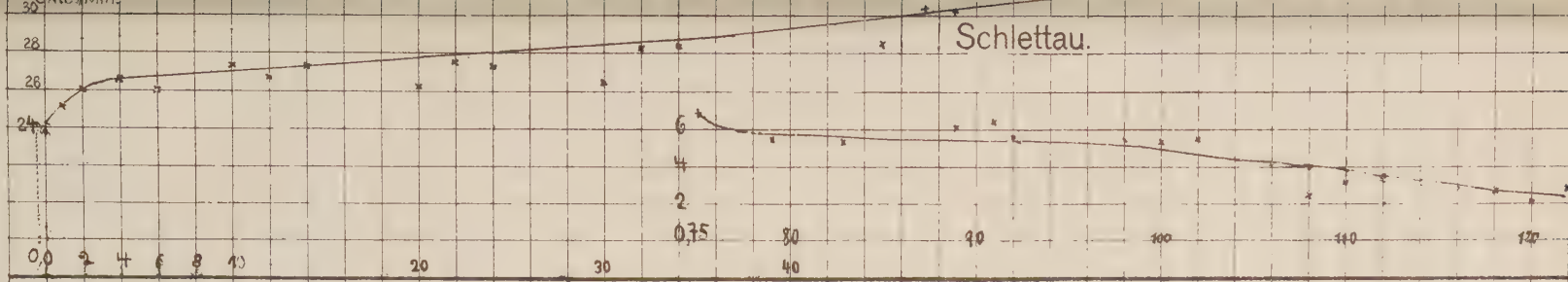
Übersichtskarte.

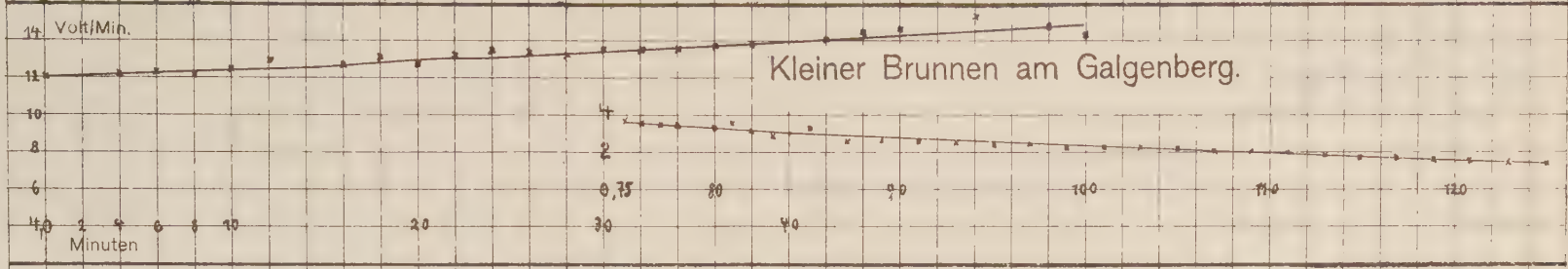


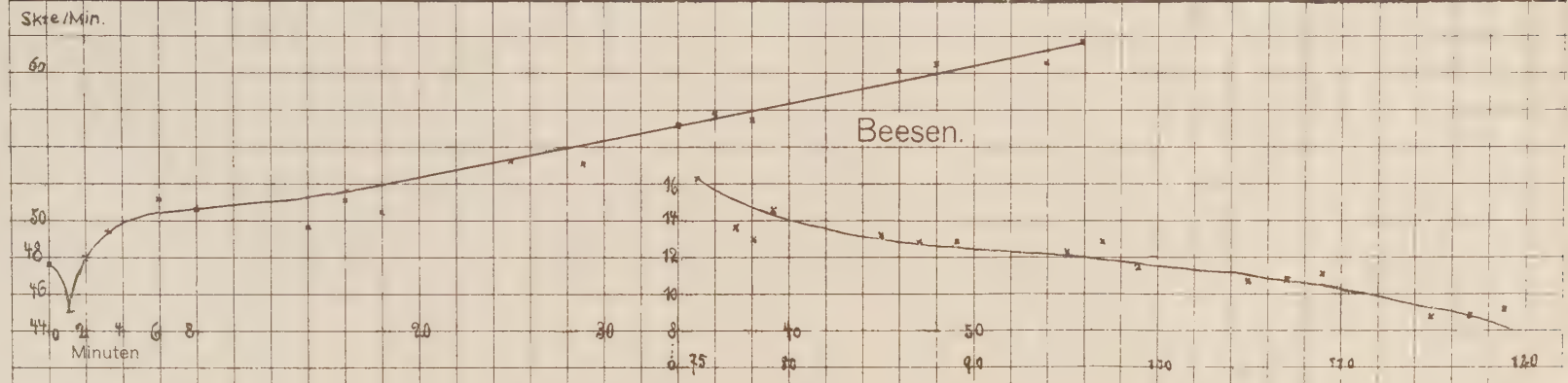
Bedeutung der Zeichen.

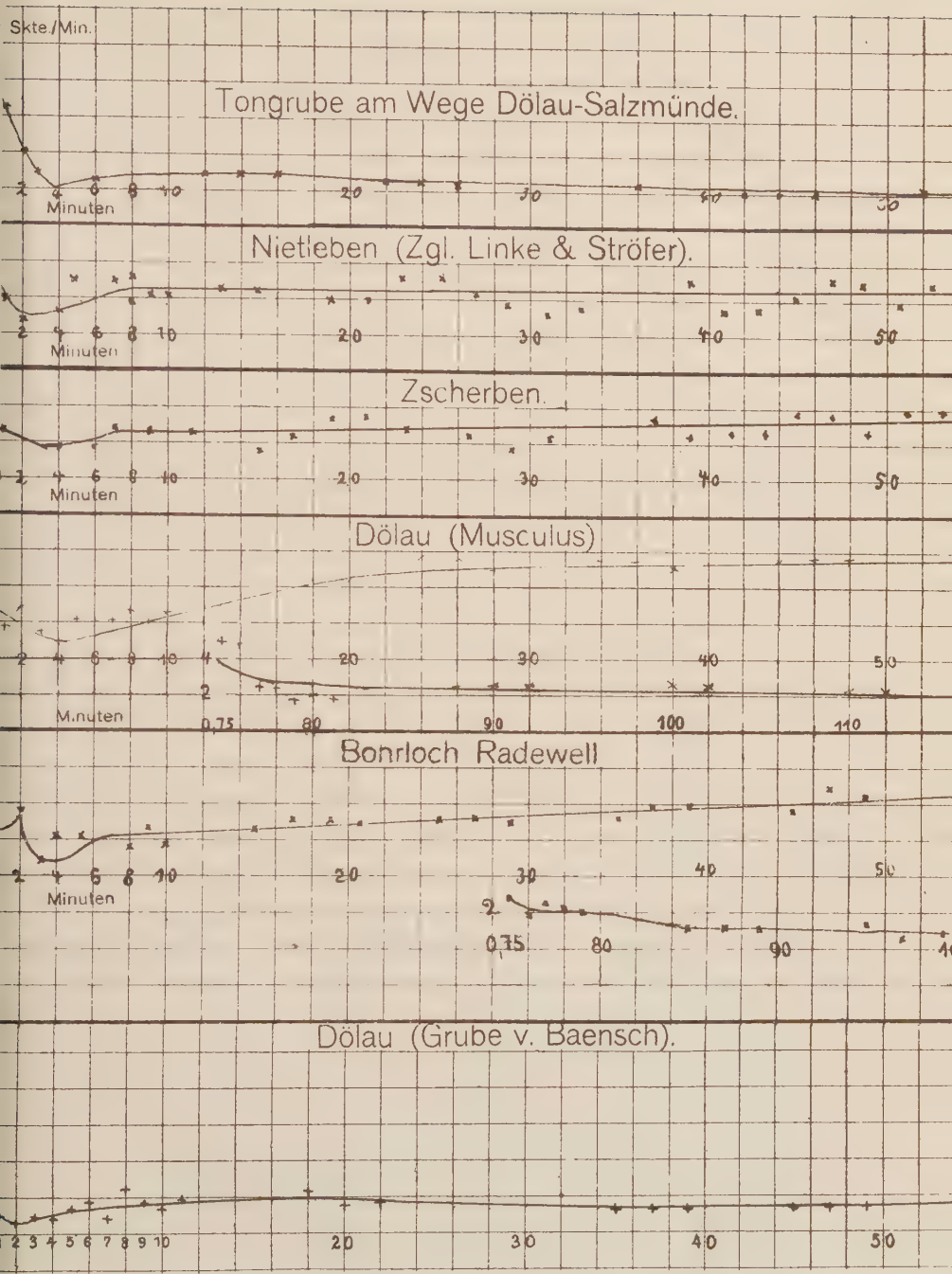
pu = älterer Porphyr.
po = jüngerer „
K = Kaolin.
bu = unterer Buntsandstein.
bm = mittlerer „
$b_v u$ = vertonter unterer Buntsandstein.
t = Tertiär, Sand, Ton.
gt = Geschiebelehm und Tertiär.
s_a = Saaleschotter der Aue.
n_s = Niederterrasse der Saale.
s_n = Schotter der Niederterrasse der Saale.
z = Zechstein.
m = Muschelkalk.
■ = Brunnen, deren Wasser nur Radiumemanation enthielt.
▨ = Brunnen, deren Wasser Radium- und Thoremanation enthielt.

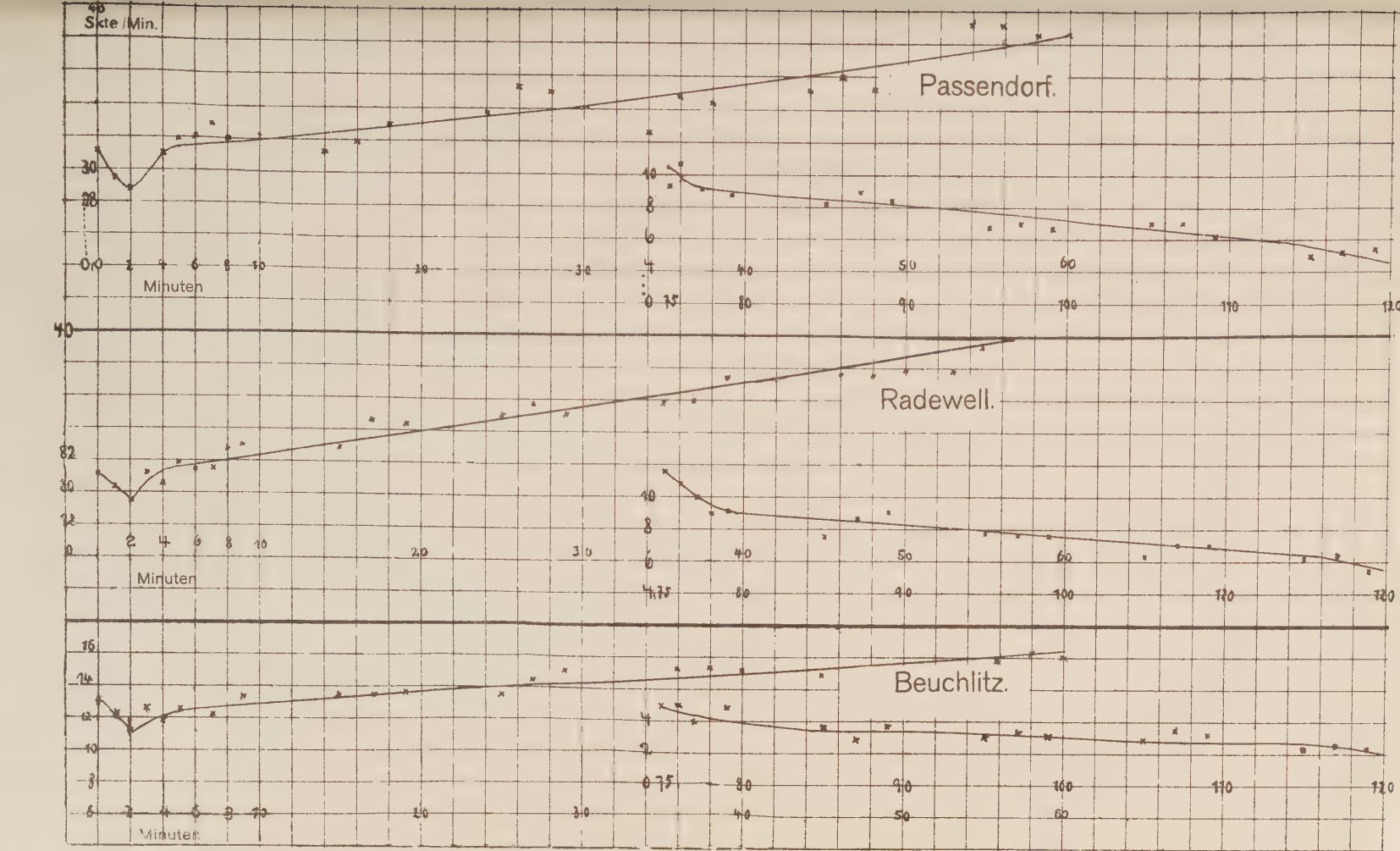

Skte./Min.
Minuten
Radium.
Grosser Brunnen am Galgenberg.
Wörmlitz.

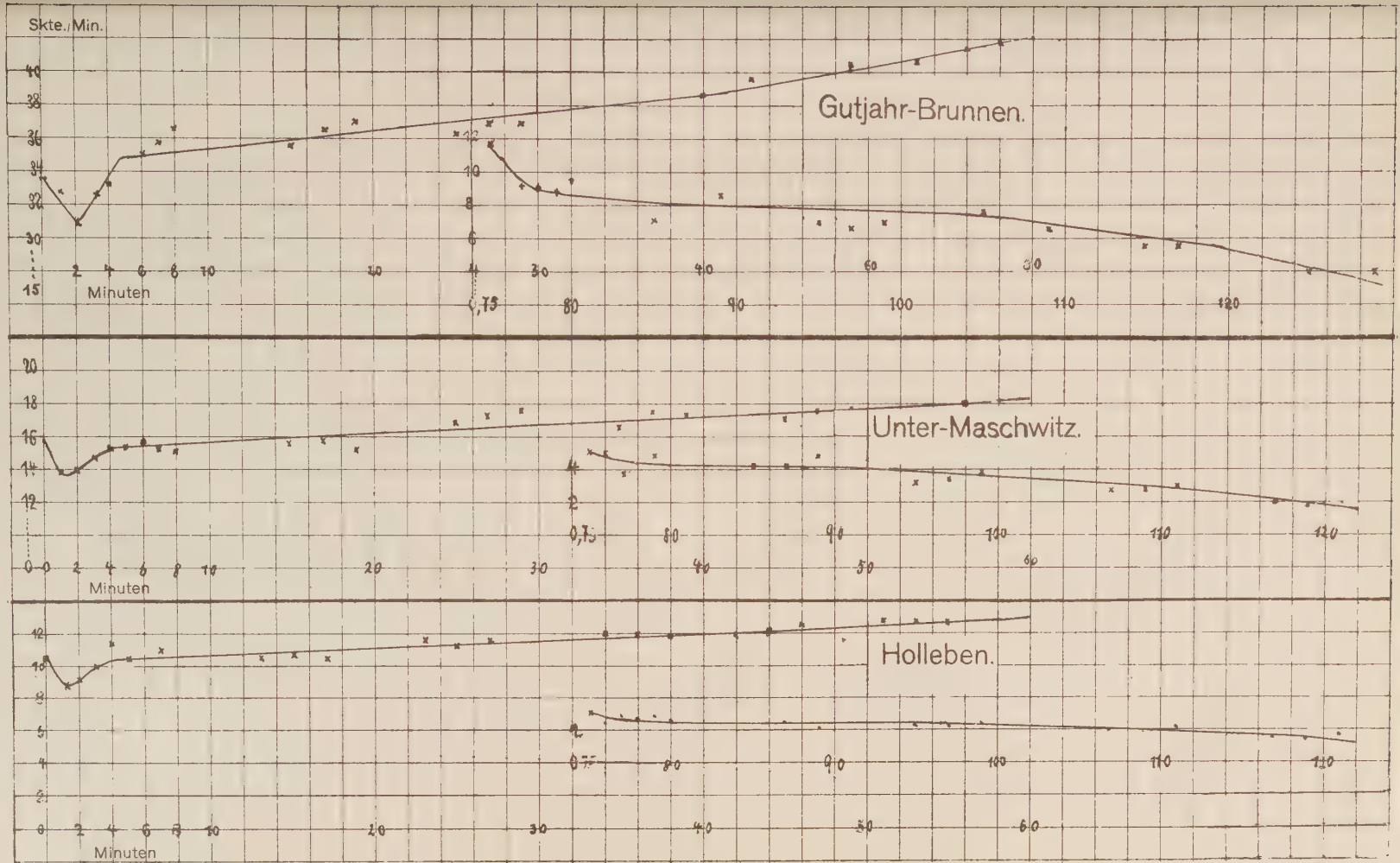

Schlettau.

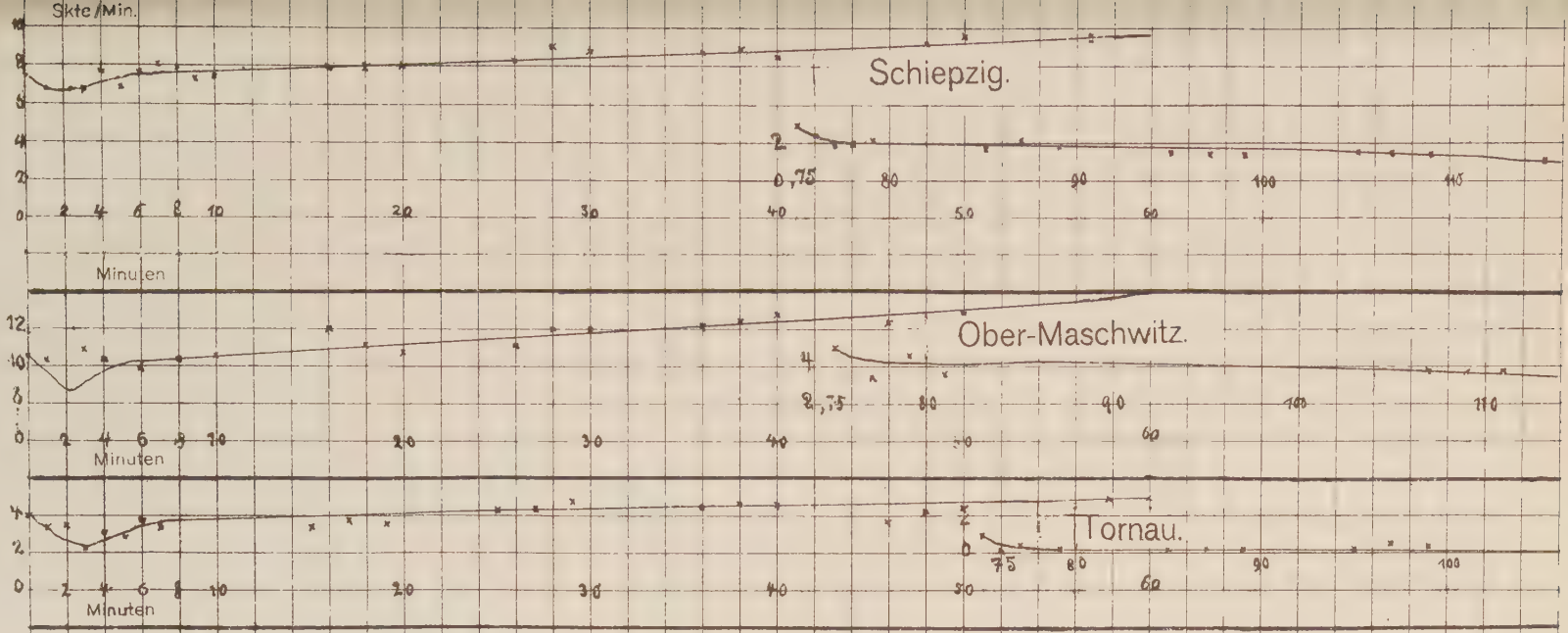

Volt/Min.
Kleiner Brunnen am Galgenberg.
Minuten

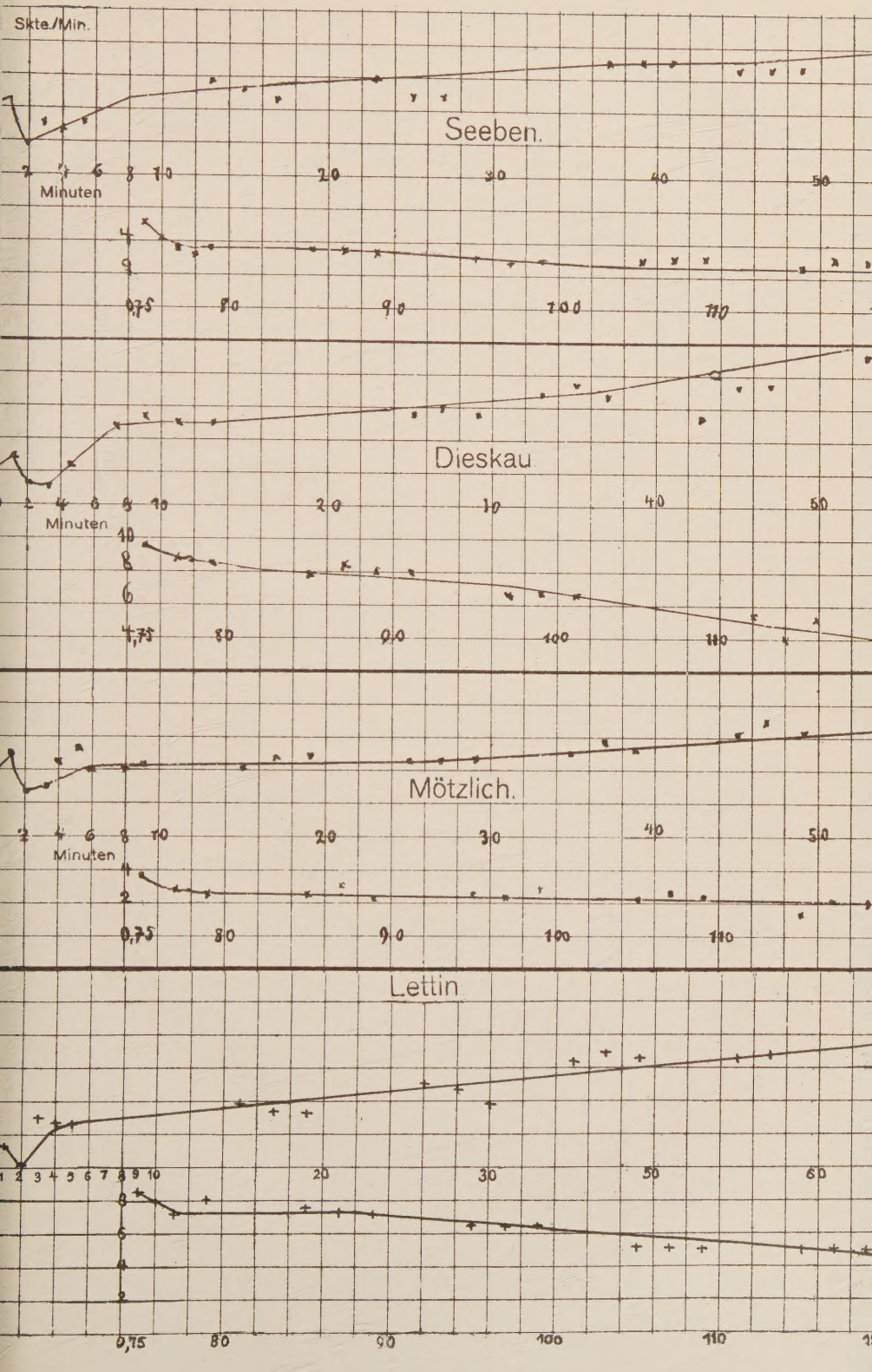
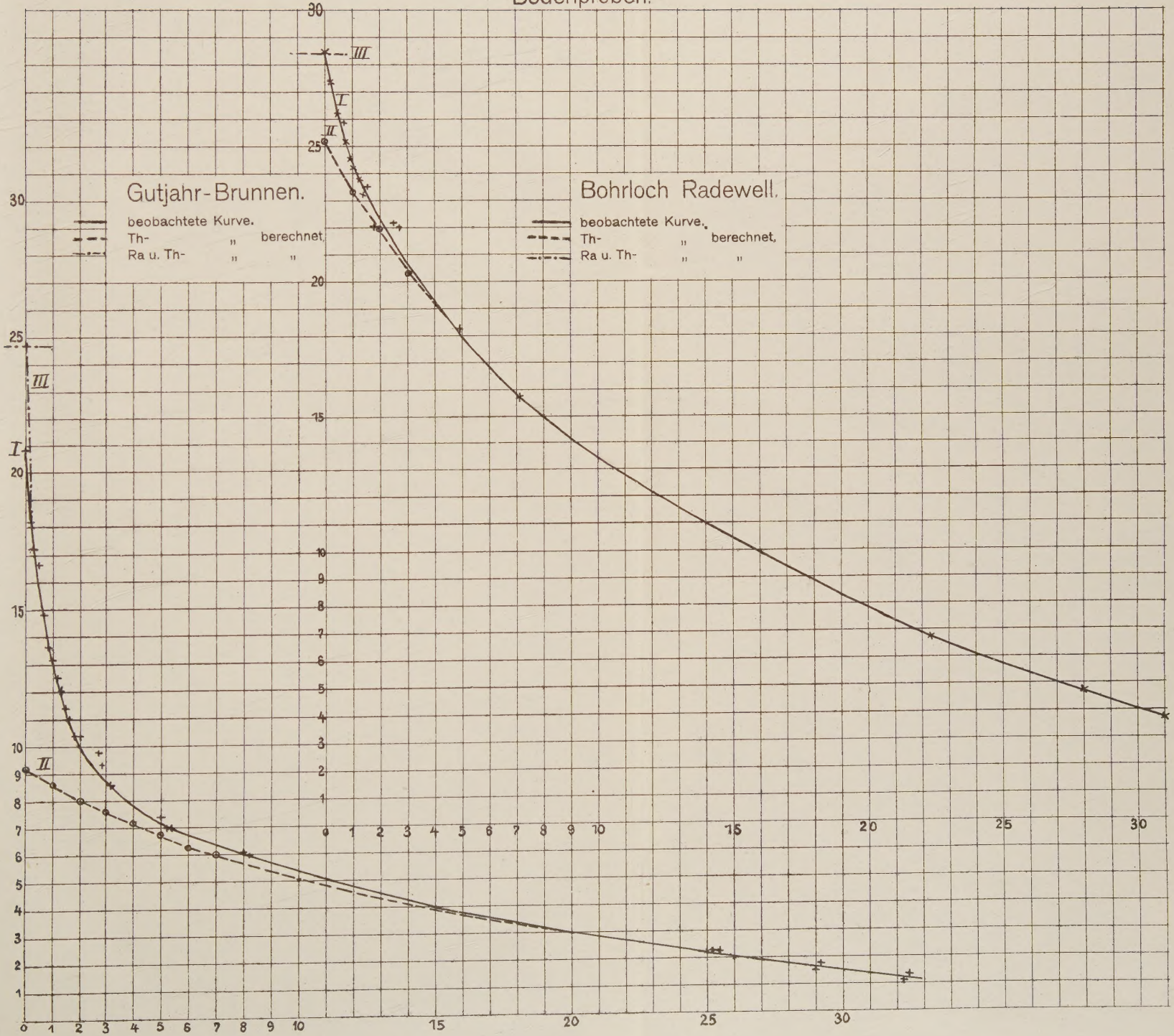

Skte/Min.
Beesen.
Minuten


Skte./Min.
Tongrube am Wege Dölau-Salzmünde.
Minuten
Nietleben (Zgl. Linke & Ströfer).
Minuten
Zscherben.
Minuten
Dölau (Musculus)
Minuten
0,75
Bonrloch Radewell
Minuten
0,75
Dölau (Grube v. Baensch).


Sete/Min.
Passendorf.
Minuten
Radewell.
Minuten
Beuchlitz.
Minuten


Skte. Min.
Gutjahr-Brunnen.
Minuten
Unter-Maschwitz.
Minuten
Holleben.
Minuten


Skte/Min.
Schiepzig.
Minuten
Ober-Maschwitz.
Minuten
Tornau.
Minuten


Skte./Min.
Seeben.
Minuten
Dieskau.
Minuten
Mötzlich.
Minuten
Lettin

Bodenproben.